

# ***Benchmarking* Operacional - Uma ferramenta para a gestão de energia**

*Ana Filipa Serafim Louzada*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na empresa: Eng.º Luís Carlos Amorim Coimbra Vale

Orientador na FEUP: Prof. Armando Carlos Figueiredo Coelho de Oliveira



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

julho 2015



## Resumo

Uma das ferramentas de gestão de energia mais utilizadas atualmente para avaliar o desempenho energético de um edifício é o *benchmarking*.

Devido à atual situação económica do país, há poucos meios para realizar investimentos e, portanto, a substituição dos equipamentos existentes num edifício por outros mais eficientes é uma opção que dificilmente será concretizada. Assim sendo, atualmente opta-se por otimizar o desempenho energético de um edifício melhorando as condições de operação e manutenção dos sistemas/equipamentos presentemente instalados.

Desta forma, o *benchmarking* operacional é um bom indicador para aferir qual o desempenho energético de um edifício, comparando o consumo real (conhecido através da faturação) com o consumo teórico anual expectável que os sistemas energéticos realmente instalados teriam caso fossem operados/mantidos em condições ótimas de eficiência.

Assim, este trabalho teve como principal objetivo desenvolver uma metodologia de cálculo dos consumos expectáveis dos principais sistemas energéticos existentes num centro comercial, com os quais os consumos reais poderão ser comparados a fim de detetar eventuais situações de ineficiência e permitir a sua correção.

Essa metodologia de cálculo foi posteriormente implementada para um caso concreto, o Centro Comercial A. Para isso foi necessário avaliar quais os sistemas energéticos relevantes, caracterizá-los corretamente e calcular os respetivos consumos teóricos (*targets*).

Desta forma foi possível desenvolver o *benchmarking* operacional e assim concluir acerca do desempenho global do centro comercial. Além disso, esta ferramenta permitiu também uma análise detalhada do desempenho de cada componente ou sistema energético, o que é extremamente útil não só para identificar as “melhores práticas”, mas também para detetar rapidamente quais os componentes que apresentam situações de ineficiência, de forma a corrigi-las num curto período de tempo.

Os resultados obtidos pela metodologia proposta demonstraram que o desempenho energético global dos sistemas regulados do Centro Comercial A é bastante satisfatório (*benchmarking* operacional de 0,95 em 2014). No entanto, isto não é, por si só, garantia de que todos os componentes apresentem um bom desempenho. Analisando individualmente cada equipamento verificou-se que alguns deles apresentam alguma ineficiência, como é o caso do *chiller* em que o consumo real é bastante superior ao consumo teórico calculado, o que evidencia que ainda existem oportunidades de melhoria. Ao nível da iluminação verificou-se que o consumo real é inferior ao consumo teórico calculado, resultando num indicador (*benchmarking*) de 0,74. Isto pode ser o resultado de uma rigorosa estratégia de gestão, mas também, do facto de estas utilizações provavelmente não estarem a ser medidas com 100% de representatividade.



## Operational Benchmarking - An energy management tool

### Abstract

Nowadays, energy benchmarking is one of the more commonly used energy management tools to evaluate the energy efficiency in buildings.

Because of the economic situation of the country, there is not a lot of capital to invest in energy efficient equipment, and so replacing devices with more efficient counterparts is an unlikely option. Therefore, the current focus is on improving buildings' performance, managing and operating already installed systems.

Operational benchmarking provides an indication of the building performance, by comparing the real energy consumption with the theoretical consumption that the energy systems should have if they were operated in an energy efficient way (operational targets).

The main objective of this thesis was to develop a methodology to calculate the operational targets for the most important energy systems (lighting and HVAC systems) with which the real consumptions can be compared in order to quickly detect inefficient equipment and correct them.

Then, the methodology developed through these indicators was validated in a real case: Shopping Centre A. In this case, it was necessary to evaluate the main energy systems, characterize them and calculate the respective targets. That way it was possible to calculate the operational benchmarking and, to conclude about the shopping centre performance. Besides that, this tool also allows a detailed analysis for each energy system or component. This is extremely helpful not only to identify the best practices but also to detect the inefficient situations, in order to correct them.

The results obtained with the developed methodology demonstrated that the global performance of the regulated systems in 2014 was really good (operational benchmarking of 0.95). However, this is not a guarantee that all the components had a great performance. When making an individual analysis of each equipment, some of them show some inefficiency, such as the chiller, which had a high value for operational benchmarking. This means that the consumption of this equipment, in 2014, was larger than the calculated operational target. So, one can conclude that this equipment still has improvement opportunities. On the other hand, lighting systems show consumptions below the operational target. This can be the result of a strict management strategy, but also because some of the systems may not have been measured with complete accuracy.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, queria agradecer a toda a equipa da empresa Edifícios Saudáveis Consultores, pela simpatia, disponibilidade e pela forma tão acolhedora como me receberam. Em especial agradeço ao Eng.º Ricardo Sá pela oportunidade concedida para a realização desta dissertação na empresa e ao meu fantástico orientador, o Eng.º Luís Vale, pela enorme simpatia, disponibilidade, paciência, incentivo e apoio que me concedeu ao longo destes meses. Foi uma ótima experiência que irei levar para a vida, e espero sinceramente ter contribuído de alguma forma para esta empresa.

Ao Professor Armando Oliveira, orientador da FEUP, agradeço a oportunidade da realização e orientação deste trabalho.

Quero também agradecer aos meus queridos colegas estagiários que me acompanharam neste percurso: Carlos, Diogo, Inês, Luís e Sandra. Obrigada por todas as ajudas imprescindíveis que me deram e também pelos bons momentos de convívio e companheirismo que passámos ao longo dos últimos meses. Passaram da categoria de bons colegas para a categoria de bons amigos, acreditem!

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer à minha família perfeita que eu adoro! Aos meus pais por sempre acreditarem em mim, por me apoiarem incondicionalmente e por estarem sempre ao meu lado (nem que seja pelos telefonemas diários quando o contacto presencial não é possível) e à minha irmã, que sempre me aturou e me ajudou, e muito, ao longo destes 23 anos!





## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação.....	1
1.2	Apresentação da empresa .....	2
1.3	Objetivos .....	2
1.4	Estrutura da dissertação .....	3
2	Estado da arte .....	5
2.1	Eficiência energética .....	5
2.2	Gestão de energia.....	8
2.3	Avaliação comparativa .....	10
2.4	Desempenho energético de um edifício .....	13
3	Metodologia .....	15
3.1	Definição de centro comercial .....	15
3.2	Caracterização de um centro comercial .....	17
3.2.1	Zonamento.....	17
3.2.2	Sistemas energéticos.....	18
3.3	Modelo do Centro Comercial Padrão .....	25
3.4	Benchmarking operacional.....	28
3.4.1	Definição.....	28
3.4.2	Metodologia de cálculo .....	29
3.5	Determinação de Consumos .....	31
3.5.1	Iluminação .....	31
3.5.2	AVAC .....	33
4	Caso de estudo: Centro Comercial A.....	37
4.1	Apresentação .....	37
4.2	Caracterização dos sistemas energéticos.....	38
4.2.1	Iluminação .....	38
4.2.2	AVAC .....	39
4.3	Desagregação dos consumos reais .....	41
4.4	Consumos teóricos ( <i>metas</i> ) .....	42
4.4.1	Iluminação .....	42
4.4.2	AVAC .....	42
5	Apresentação e análise de resultados .....	47
5.1	Desempenho energético do Centro Comercial A em 2014 .....	48
5.2	Evolução do desempenho energético do Centro Comercial A .....	52
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	55
	Referências .....	59
ANEXO A:	Centro Comercial Padrão .....	63
ANEXO B:	Programa de simulação IES .....	65
ANEXO C:	Caraterísticas do Centro Comercial A .....	69
ANEXO D:	Características definidas no Centro Comercial Padrão .....	71
ANEXO E:	Condições de funcionamento do sistema de climatização.....	79
ANEXO F:	Resultados detalhados .....	83



## Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da legislação em Portugal [11].....	8
Figura 2 – Consumos de referência típicos, consoante a tipologia de edifício (Adaptado de [19]).....	12
Figura 3 - Fatores que determinam o desempenho energético de um edifício. ....	14
Figura 4 - Exemplo de centro comercial [26]. ....	16
Figura 5 – Fator de transmissão de iluminação natural [27]. ....	19
Figura 6 - Exemplificação de uma instalação com zonamento de circuitos que possibilita a comutação on/off [28]. ....	20
Figura 7 - <i>Chiller</i> centrífugo água-água [30]. ....	22
Figura 8 - Torre de arrefecimento [31]. ....	22
Figura 9 - Representação esquemática de uma UTA. ....	23
Figura 10 - Representação esquemática de uma UTAN. ....	23
Figura 11 - UTA [33]. ....	24
Figura 12 - Ventilador-convetor [34]. ....	24
Figura 13 - Cargas reguladas. ....	24
Figura 14 - Centro Comercial Padrão: aspeto geral [35]. ....	25
Figura 15 - Metodologia de cálculo do consumo de energia para arrefecimento das zonas comuns. ....	26
Figura 16- Vista das estruturas tipo claraboia [36]. ....	27
Figura 17 - Exemplo de um perfil de iluminação. ....	32
Figura 18 - Metodologia para o cálculo das necessidades térmicas. ....	34
Figura 19 - Correção climática para as necessidades de arrefecimento. ....	34
Figura 20 - Representação esquemática da central térmica do Centro Comercial A. ....	40
Figura 21 - Desagregação dos consumos de 2014 do Centro Comercial A. ....	41
Figura 22 - Esquema do sistema de AVAC implementado no Centro Comercial A. ....	43
Figura 23 - EER do <i>chiller</i> em função da percentagem de carga. ....	44
Figura 24 - <i>Benchmarking</i> operacional das cargas reguladas do Centro Comercial A. ....	48
Figura 25 - <i>Benchmarking</i> operacional dos sistemas de iluminação. ....	49
Figura 26 - <i>Benchmarking</i> operacional dos equipamentos de AVAC. ....	50
Figura 27 - <i>Benchmarking total</i> do Centro Comercial A. ....	51
Figura 28 - Comparação do <i>benchmarking</i> operacional do Centro Comercial A em 2013 e 2014. ....	52
Figura 29 - Evolução do desempenho energético do Centro Comercial A. ....	53
Figura 30 - Vista geral do Centro Comercial Padrão [35]. ....	63
Figura 31 - Distribuição das zonas no Centro Comercial Padrão [35]. ....	64
Figura 32 - Aspeto geral da interface do programa de simulação IES. ....	65
Figura 33 - Sombreamento às 16h do dia 15 de dezembro. ....	66
Figura 34 - Sombreamento às 16h do dia 15 de julho. ....	66
Figura 35 - Piso 0. ....	69
Figura 36 - Piso 1. ....	69
Figura 37 - Perfil de iluminação das zonas comuns (domingo a quinta). ....	73

Figura 38 - Perfil de iluminação das zonas comuns (sexta e sábado). ....	74
Figura 39 - Perfil de iluminação dos corredores técnicos (domingo a quinta). ....	74
Figura 40 - Perfil de iluminação dos corredores técnicos (sexta e sábado). ....	74
Figura 41 - Perfil de iluminação dos parques de estacionamento cobertos (domingo a quinta). ....	75
Figura 42 - Perfil de iluminação dos parques de estacionamento cobertos (sexta e sábado). ....	75
Figura 43 - Iluminação do parque de estacionamento exterior (domingo a quinta). ....	75
Figura 44 - Iluminação do parque de estacionamento exterior (sexta e sábado). ....	76
Figura 45 - Horário de funcionamento do sistema de AVAC (domingo a quinta). ....	76
Figura 46 - Horário de funcionamento do sistema de AVAC (sexta e sábado). ....	76
Figura 47 - Controlo do caudal de insuflação pela temperatura [38]. ....	80
Figura 48 - Controlo On/Off [39]. ....	81
Figura 49 - Esquema de funcionamento do sistema de climatização. ....	82
Figura 50 - Necessidades térmicas das zonas comuns do CCP. ....	84
Figura 51 - Necessidades térmicas das lojas climatizadas do CCP. ....	85
Figura 52 - Desagregação dos consumos reais de 2013. ....	86

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classificação dos centros comerciais .....	16
Tabela 2 - Características dos sistemas de iluminação do Centro Comercial A .....	38
Tabela 3 - Características do sistema de AVAC do Centro Comercial A .....	39
Tabela 4 - Desagregação dos consumos de 2014 do Centro Comercial A.....	41
Tabela 5 - Consumos dos sistemas de iluminação.....	42
Tabela 6 - Consumos teóricos AVAC (2014) .....	46
Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos para o <i>benchmarking</i> operacional .....	48
Tabela 8 - Centro Comercial Padrão: desagregação de áreas .....	63
Tabela 9 - Horário de funcionamento do Centro Comercial Padrão.....	64
Tabela 10 - Levantamento de áreas do Centro Comercial A.....	69
Tabela 11 - Horário de funcionamento do Centro Comercial A .....	70
Tabela 12 - Características das UTA's e UTAN's do Centro Comercial A.....	70
Tabela 13 - Características definidas no Centro Comercial Padrão.....	72
Tabela 14 - Ganhos internos.....	73
Tabela 15 - <i>Set-point</i> de temperatura interior .....	79
Tabela 16 - <i>Set-points</i> de temperatura dos registos, válvulas e <i>VSD</i> .....	80
Tabela 17 - Horário de funcionamento do sistema de AVAC .....	80
Tabela 18 - <i>Set-point</i> de arranque e paragem .....	81
Tabela 19 - Potências médias tomadas (iluminação) .....	83
Tabela 20 - Condições de funcionamento .....	83
Tabela 21 - Potências médias tomadas para os equipamentos do sistema de AVAC.....	84
Tabela 22 - Consumos teóricos (metas) .....	85



## Siglas

APCC	Associação Portuguesa de Centros Comerciais
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology</i>
CCC	Centro Comercial Concreto
CCP	Centro Comercial Padrão
CE	Comissão Europeia
E4	Eficiência Energética e Energias Endógenas
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
HAP	Horário de Abertura ao Público
IBC	<i>International Benchmarking Clearinghouse</i>
IES	<i>Integrated Environmental Solutions</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
QAI	Qualidade do Ar Interior
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RPH	Renovações por hora
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SHGC	<i>Solar Heat Gain Coefficient</i>
TLV	Transmissão de luz visível
UE	União Europeia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
VAV	Volume de Ar Variável
VSD	<i>Variable Speed Drive</i>





## Nomenclatura

$A_{zona}$	Área da zona [m <sup>2</sup> ]
$EER_{chiller}$	Relação de eficiência energética do <i>chiller</i>
$EER_{refrigerador}$	Relação de eficiência energética do refrigerador
$GDA$	Graus-dia de arrefecimento [°C]
$HAP$	Número de horas anuais de abertura ao público [h/ano]
$HC$	Número de horas anuais de cinema [h/ano]
$PES$	Potência específica superficial [W/m <sup>2</sup> ]
$P_{instalada}$	Potência instalada [W]
$PMT$	Potência média tomada [W/m <sup>2</sup> ]
$Pot$	Potência [W]
$\dot{Q}_{chiller}$	Potência térmica dos <i>chillers</i> [W]
$\dot{Q}_{condensador}$	Potência térmica do condensador [W]
$\dot{Q}_{lojas}$	Necessidades das lojas [W]
$\dot{Q}_{zonas\ comuns}$	Necessidades das zonas comuns [W]
$\dot{Q}_{torre}$	Potência térmica das torres de arrefecimento [W]
$RH$	Número de horas anuais de encerramento [h/ano]
$U$	Coeficiente global de transferência de calor [W/m <sup>2</sup> ·°C]



# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento do projeto e motivação

No atual panorama mundial, tem-se assistido a um aumento da procura da energia, por esta ser essencial para o desenvolvimento económico e social. No entanto, os recursos energéticos, nomeadamente os combustíveis fósseis, são finitos e as suas reservas estão geograficamente mal distribuídas, criando laços de dependência e problemas económicos, políticos e sociais.

O setor dos edifícios é um dos setores que mais energia consome devido à necessidade de aquecimento, arrefecimento e funcionamento de todos os equipamentos. Tendo esta noção, torna-se imperativo reduzir estes consumos e fomentar o conceito de desenvolvimento sustentável, que é “capacidade de satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as possibilidades das gerações futuras” [1]. Para isso, uma das principais medidas que pode ser implementada é aumentar a eficiência energética dos edifícios.

No caso dos centros comerciais, estes são edifícios com zonas de grande dimensão, que funcionam durante muitas horas, com grandes taxas de ocupação e com elevados padrões de exigência a nível de conforto, o que torna estes edifícios casos especiais de estudo. Por essa razão, é essencial que estes edifícios possuam uma adequada gestão de energia. Neste sentido, o presente trabalho é um pequeno contributo para enriquecer as ferramentas de gestão de energia que já existem, desenvolvendo uma metodologia de cálculo de consumos expectáveis dos principais sistemas energéticos existentes num centro comercial, com os quais os consumos reais poderão ser comparados a fim de detetar eventuais situações de ineficiência e permitir a sua correção.

## 1.2 Apresentação da empresa

O presente trabalho foi realizado em ambiente empresarial, na empresa “Edifícios Saudáveis Consultores”.

A Edifícios Saudáveis Consultores nasceu no ano de 1996 e é uma empresa vocacionada para as temáticas da sustentabilidade ambiental em edifícios (eficiência energética e hídrica, materiais ecológicos, qualidade do ambiente interior).

Tem uma longa experiência com os sistemas de avaliação de mérito ambiental com maior reconhecimento internacional (LEED e BREEAM), tendo sido a primeira empresa em Portugal a fazer uma Certificação LEED e uma Certificação BREEAM, e a primeira a fazer uma Certificação LEED GOLD na Península Ibérica.

A Edifícios Saudáveis Consultores tem também longa tradição e experiência no estabelecimento de parcerias para a redução de custos energéticos em edifícios, tendo já potenciado economias de energia num conjunto de edifícios que inclui, entre outros, centros comerciais, supermercados e hipermercados, hotéis, casinos, *health clubs*, escritórios e edifícios industriais.

A experiência da Edifícios Saudáveis Consultores é diversificada e internacional, tendo já trabalhado com promotores e gestores de edifícios, empresas multinacionais, agências de energia e empresas industriais em vários países como Portugal, Alemanha, Espanha, Itália, Grécia e Brasil.

Foi ainda pioneira em Portugal nos temas da qualidade do ambiente interior (qualidade do ar, conforto térmico, etc.), quer ajudando gestores de edifícios a resolver problemas complexos e a maximizar a satisfação e produtividade dos ocupantes dos edifícios que operam, quer colaborando com promotores para garantir níveis de conforto ambiental de excelência nos edifícios que constroem [2].

## 1.3 Objetivos

Esta dissertação contribuiu para o desenvolvimento de um sistema de referência (*benchmarking*) em curso na empresa, que será utilizado por uma empresa proprietária de um grande portefólio de centros comerciais, para gerir e acompanhar os consumos energéticos dos seus centros.

Para o centro comercial em estudo foi necessário efetuar um levantamento dos sistemas energéticos relevantes a avaliar, estimar os seus consumos caso fossem operados a condições ótimas e fazer a comparação com o consumo real do centro.

Com este trabalho pretende-se essencialmente:

- Calcular indicadores de desempenho representativos da realidade;
- Apresentar os indicadores de uma forma atrativa e de fácil compreensão e análise;

- Dar uma informação global do desempenho energético do centro comercial;
- Fazer uma análise diferenciada da eficiência dos diferentes componentes;
- Perceber como é que o desempenho do centro comercial tem evoluído ao longo dos últimos anos;
- A partir dos resultados obtidos identificar as “melhores práticas” e propor a sua implementação com vista à melhoria contínua do desempenho energético do centro;
- Demonstrar a utilidade do *benchmarking* como forma de rapidamente detetar situações de ineficiência, de modo a corrigi-las num curto período de tempo.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos que se diferenciam da seguinte forma:

O presente capítulo identifica o contexto do trabalho, caracterizando os principais objetivos desta dissertação, bem como da metodologia utilizada.

O capítulo 2 apresenta o estado da arte referente à eficiência energética, gestão de energia e análise comparativa e são abordados os fatores que determinam o desempenho energético de um edifício.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada para avaliar o desempenho energético de centros comerciais. Para isso, começa-se por definir o que é um centro comercial e, posteriormente, caracteriza-se este tipo de edifícios, relativamente ao seu zonamento e aos sistemas energéticos relevantes. São também apresentadas as ferramentas utilizadas no decorrer do trabalho (Centro Comercial Padrão e programa de simulação IES) e define-se a metodologia a usar para o cálculo do indicador operacional, que permitirá avaliar o desempenho energético.

No capítulo 4 é implementada a metodologia exposta no capítulo anterior a um caso de estudo concreto, isto é, ao Centro Comercial A. Assim, começa-se por caracterizar o edifício e os principais sistemas energéticos para depois ser possível determinar os consumos teóricos expectáveis com os quais os consumos reais serão comparados a fim de se obter o indicador operacional. Com isto é possível aferir acerca do desempenho energético deste edifício.

No capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

O trabalho termina com a apresentação das principais conclusões, no capítulo 6.



## 2 Estado da arte

### 2.1 Eficiência energética

Portugal é um país com escassos recursos energéticos endógenos de origem não renovável, sendo por isso muito dependente energeticamente de outros, principalmente daqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos. Assim, é essencial aumentar a contribuição das energias renováveis: hídrica, eólica, solar, biomassa, bem como apostar na eficiência energética dos edifícios.

A eficiência energética passa pela utilização da energia da forma mais racional (económica) possível, sem prejuízo do nível de conforto ou da qualidade de vida. Trata-se essencialmente de evitar o desperdício de energia e pode ser alcançada através da alteração de alguns comportamentos e da utilização de equipamentos que consumam menos energia [3].

Aumentar a eficiência energética de edifícios de comércio e serviços é também a melhor medida de baixo custo para controlar as alterações climáticas num mundo dependente de energias primárias com elevadas taxas de libertação de CO<sub>2</sub> para o meio ambiente [4].

A eficiência energética é um conceito associado à sustentabilidade energética e que é muito abordado nos dias de hoje. Este conceito existe como uma resposta à necessidade de mudar o comportamento face às questões sociais, económicas e ambientais que estão relacionadas com este tema. É natural que à medida que a sociedade se vá desenvolvendo, as necessidades de conforto e consumo de energia aumentem. No entanto, este paradigma deve ser mudado, pois é possível fazer uma utilização moderada e racional da energia de forma a satisfazer as nossas necessidades de conforto, sem alterar o nosso estilo de vida e sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

A eficiência energética pode ser então definida como a otimização que podemos fazer ao consumo de energia [5]. Para isso, têm de ser tomadas algumas medidas. Por um lado, podemos reduzir os consumos de energia com simples atos como desligar as luzes ao sair de uma divisão, mas também recorrendo a tecnologias e processos que permitam evitar o desperdício em todas as fases [5]. Além disso é essencial que os edifícios possuam uma arquitetura, construção e equipamentos eficientes, bem controlados e bem geridos. Ou seja, a eficiência energética pode ser definida como uma estratégia de consumir o mínimo possível para a realização de qualquer trabalho, quer através da supressão de consumos, quer através da utilização de tecnologias mais eficientes. A aplicação de medidas políticas eficazes, podem reduzir de forma significativa os níveis de intensidade energética e as emissões de gases de efeito de estufa [6].

Devido à crescente preocupação dos países para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, têm surgido vários programas de apoio à eficiência energética, tal como o recente “Europa 2020”. Este programa tem como principal objetivo impulsionar a transição para uma economia eficiente em termos de recursos. Para além disso, procura reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa, bem como melhorar a segurança do aprovisionamento energético. Neste programa, a União Europeia fixou como objetivo para 2020 reduzir em 20% o seu consumo de energia primária, em comparação com as projeções. Para tal foram tomadas importantes medidas, nomeadamente no mercado dos equipamentos e dos edifícios. No entanto, recentes estimativas da Comissão sugerem que a UE irá atingir apenas metade do objetivo de 20% [7].

A nível nacional, e atendendo a que 20% da energia primária em Portugal é consumida nos edifícios, tanto no setor residencial como de serviços, surgiu o programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas) que promove [8]:

- A eficiência energética nos edifícios, ou a utilização moderada e racional de energia, atendendo a todos os tipos de consumo (água quente, iluminação, equipamentos, climatização);
- O recurso às energias endógenas nos edifícios, de modo a facilitar a implementação das energias renováveis nos edifícios (solar térmico, solar fotovoltaico, células de combustível...).

De forma a promover a eficiência energética, surgiu a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta estabelece que os países membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética capaz de informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios aquando da sua construção ou transação (venda ou arrendamento). No caso de edifícios novos ou sujeitos a grandes obras de reabilitação, a certificação energética permite obter informação sobre potenciais consumos, dos seus consumos reais ou previstos, de acordo com padrões de utilização típicos para cada tipo de setor de atividade. Os custos energéticos passam assim a ser um dos principais aspetos que caracterizam os edifícios. No caso dos edifícios existentes, a certificação energética destina-se a informar o utente das possíveis medidas de melhoria aplicáveis, com viabilidade económica, de modo a reduzir os consumos energéticos e melhorar eficiência energética do edifício [9].

A Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através dos seguintes Decretos-Lei:

- Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios;
- Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;
- Decreto-Lei nº 80/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.



Posteriormente, esta diretiva foi revogada e foi publicada a Diretiva nº 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, onde foi reformulado o regime estabelecido pela Diretiva de 2002/91/CE. Esta diretiva vem clarificar alguns princípios e introduzir novas disposições com vista a promover o desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020. A transposição para o direito nacional da Diretiva nº 2010/31/UE veio melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma [10].

Esta diretiva foi transposta para a legislação nacional, através do Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto de 2013, que inclui, num mesmo diploma:

- O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE);
- O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH);
- O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Este Decreto-Lei envolve alterações a vários níveis, das quais se destacam a aglutinação, num só diploma, de uma matéria anteriormente regulada por três diplomas; e a separação clara no âmbito da aplicação do REH para edifícios de habitação e do RECS, para edifícios de comércio e serviços. Segundo esta diretiva, a avaliação de desempenho energético dos edifícios de habitação centra-se no comportamento térmico e na eficiência dos sistemas, ao passo que, para os edifícios de comércio e serviços são ainda definidas regras e requisitos para a instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos. Ficam também sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis, de gestão de energia.

Relativamente à qualidade do ar interior, considera-se de maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior, de forma a salvaguardar os mesmos níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes. Para além disso, passa-se a privilegiar a ventilação natural em detrimento de equipamentos de ventilação mecânica, numa ótica de otimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos [10].

Desta forma, o Estado promoveu, com forte dinamismo, a eficiência energética dos edifícios, que se traduziu não só na eficácia do sistema de certificação energética, como também no diagnóstico dos aspetos cuja aplicação prática se revelou passível de melhoria [10].

Na Figura 1 é possível observar a evolução legislativa em Portugal.



Figura 1 - Evolução da legislação em Portugal [11].

## 2.2 Gestão de energia

A gestão de energia é, nos dias de hoje, um dos principais desafios que a sociedade moderna enfrenta a nível mundial.

A diversidade de formas de energia utilizadas numa instalação consumidora (estabelecimento industrial, edifício, etc.) e a complexidade das diferentes transformações que podem intervir na utilização da energia, justificam a necessidade de uma rigorosa gestão da energia [12]. Assim sendo, nos dias de hoje, o estabelecimento de uma política de gestão de energia é essencial em qualquer tipo de atividade económica, sendo uma vantagem significativa.

A gestão de energia é um processo contínuo, a longo prazo, que tem como objetivo verificar e controlar a forma como a empresa utiliza ou projeta utilizar a energia. O responsável pela gestão da energia de uma organização é o gestor de energia. Este deverá ter uma preocupação diária com os custos energéticos e a forma como a energia é consumida, de forma a encontrar soluções que conduzam a um melhor comportamento energético. Assim sendo, o gestor de energia terá como principais responsabilidades:

- Medir o consumo de energia e o custo associado, tanto a nível global como por setor da instalação;
- Determinar a influência da energia no preço final do produto ou serviço;
- Analisar a situação existente, para determinar pontos de ação e estratégias, de forma a fixar as prioridades para atingir as metas;
- Avaliar e acompanhar a rentabilidade dos investimentos em eficiência energética;
- Fomentar uma cultura de eficiência energética, divulgando informação de boas-práticas e sensibilizando os utilizadores para uma mudança de comportamento, para que estes possuam uma atitude moderada e racional na utilização da energia [13].

Uma das formas de fazer a gestão de energia é através de auditorias energéticas. Uma auditoria energética consiste num conjunto de estudos energéticos, que variam desde uma simples vistoria das instalações e equipamentos consumidores de energia, até uma análise detalhada de medidas alternativas de eficiência energética, de modo a estabelecer os fluxos das energias úteis e identificar os possíveis problemas, de forma a encontrar as soluções mais adequadas para diminuir estes últimos, tendo em conta o objetivo final que é a redução dos custos associados ao consumo de energia. Com uma auditoria energética obtém-se então um importante conjunto de dados e parâmetros energéticos que permitirão desenvolver um conjunto de ações de controlo, associadas ao estabelecimento de metas a serem atingidas. Podem ser feitas auditorias ao consumo energético dos edifícios para delinear possíveis estratégias de otimização, bem como auditorias ao estado do equipamento, mantendo um registo histórico das intervenções de manutenção realizadas.

Assim, através da auditoria é possível identificar quando, onde e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificaram desperdícios de energia. Após a auditoria é feito o tratamento da informação recolhida e são tomadas as medidas necessárias com vista a diminuir os consumos e os custos. Por fim existe a necessidade de avaliar o sucesso ou insucesso das medidas tomadas, e retirar as devidas conclusões por forma a, no futuro, obter melhores resultados.

## 2.3 Avaliação comparativa

Num cenário de crescente competitividade, as empresas são cada vez mais confrontadas com a necessidade de ferramentas de gestão que lhes permitam diagnosticar os fatores críticos do negócio, com o objetivo de corrigir rotas e de fazer mais e melhor [14].

Um dos métodos de avaliação do desempenho de uma organização é através da avaliação comparativa (*benchmarking*). Inicialmente, este era aplicado em grandes organizações, nomeadamente naquelas com fins lucrativos, como uma ferramenta de análise e controlo de gestão com vista à melhoria da situação competitiva das empresas. Ao longo dos anos, tem-se assistido à utilização desta ferramenta para avaliações de desempenho em vários setores de atividade.

Podem ser identificadas inúmeras definições de *benchmarking* na literatura da área.

Segundo a *International Benchmarking Clearinghouse (IBC)*, o “*benchmarking* é um processo sistemático e contínuo de medição. Um processo contínuo de comparar e medir processos de negócio de uma organização com aqueles de organizações líderes em qualquer parte do mundo, com o objetivo de obter informação, que irá ajudar a organização a implementar ações para melhorar a sua performance” [15].

De acordo com a OCDE (1997), o *benchmarking* consiste em “identificar e implementar as melhores práticas” [15].

Segundo a Direção Geral das Empresas e das Indústrias da Comissão Europeia, o *benchmarking* é um “processo contínuo e sistemático que permite a comparação das performances das organizações e respetivas funções ou processos face ao que é considerado “o melhor nível”, visando não apenas a equiparação dos níveis de performance, mas também a sua ultrapassagem” [16].

Para Keegan and O’Kelly, o *benchmarking* “é uma forma de ajudar as organizações a compararem-se com outras de forma a aprender com elas, fornecendo uma metodologia reconhecida e objetiva no apoio ao processo de identificação e organização de prioridade nas áreas de negócio que precisam de ser melhoradas, bem como proporcionar uma forma simples de avaliar o progresso ao longo do tempo” [17].

Esta pluralidade de conceitos e definições de *benchmarking* pode ser explicada por ser uma técnica recente, pelo facto de os mais diversos autores sustentarem diferentes tipos de *benchmarking*; e por muitas organizações criarem a sua própria definição de *benchmarking*, de acordo com os objetivos e estratégias desenvolvidas para a sua concretização. No entanto, mais importante do que selecionar várias definições de *benchmarking* é compreender de que forma este processo sistemático de avaliação pode ser desenvolvido numa organização [15].

A avaliação comparativa tem inúmeras vantagens das quais se destacam [15]:

- Permite melhor conhecimento dos pontos fortes e fracos das organizações através de autoavaliação;
- Possibilita o contacto com outras organizações, o que permite identificar e estabelecer pontos de comparação para a medição do desempenho;

- Conduz à identificação dos processos que permitem alcançar um desempenho superior, das melhorias a serem efetuadas e das principais operações necessárias para efetuar essas melhorias.

No entanto também têm sido detetadas algumas dificuldades na utilização desta ferramenta, tais como [15]:

- Ausência de informação fidedigna para efeitos de comparação, por falta de monitorização real e efetiva do desempenho das organizações pelas correspondentes entidades responsáveis;
- Dificuldade na cooperação entre organizações e na partilha de informação, tendo em conta a consciência instalada de que a avaliação e publicitação dos resultados pode implicar a realização de investimentos não desejados.

Um dos setores em que se utiliza a avaliação comparativa como ferramenta de gestão é no ramo da energia, principalmente quando se trata de gerir grandes portefólios de edifícios, diferentes ou não entre si. Assim, nos dias de hoje, ter um bom plano de gestão de energia é uma vantagem significativa e, para isso, perceber como o edifício consome a energia e se o desempenho do edifício é mau, está dentro da média ou é superior relativamente a outros edifícios semelhantes, é o primeiro passo a tomar para determinar medidas para o desenvolvimento. Isto consegue-se saber através do *benchmarking*. Pode-se então dizer que o *benchmarking* energético é uma estratégia que assenta na comparação do desempenho energético do edifício com outros edifícios do mesmo grupo ou até com o desempenho energético anteriormente obtido pelo edifício concreto. Desta forma, obtém-se uma evolução do desempenho energético do edifício ao longo dos anos, e em comparação com os edifícios semelhantes [18]. Com isto, é possível aferir qual o edifício que tem melhor desempenho e assim transportar as melhores práticas e métodos para aqueles que têm uma performance inferior [19]. Para além disso, permite compreender como e por onde se deve distribuir o consumo de energia.

Resumindo, o processo de análise comparativa tem como objetivo melhorar a eficiência energética num contexto de melhoria simultânea do desempenho energético dos edifícios [20]. Isto permitirá reduzir os custos operacionais e garantir que poderá competir ou até mesmo aumentar as margens de lucro [18].

Atualmente existem bastantes consumos de referência típicos (*benchmarks*), consoante a categoria dos edifícios, sendo que cada categoria representa um importante grupo funcional de edifícios [19]. Estes são expressos em termos de consumo de energia (eletricidade ou combustíveis fósseis) por unidade de área (kWh/m<sup>2</sup>).

As grandes vantagens destes indicadores são a sua simplicidade de cálculo e poderem ser utilizados como metas, servindo como termo de comparação para avaliar o desempenho do edifício em estudo relativamente ao consumo típico de um edifício com a mesma tipologia [21]. Assim, se o consumo real anual do edifício for superior ao consumo de referência tabelado para a tipologia do edifício, conclui-se que o desempenho do edifício não é o “ideal”, mas que pode ser melhorado se forem implementadas medidas como a substituição dos equipamentos em uso por outros mais eficientes ou melhorando a gestão/operacionalização dos equipamentos

existentes. Por outro lado, se o consumo real for inferior ao referencial tabelado poderá também querer dizer que os equipamentos não estão a funcionar a um nível suficiente para a correta realização da atividade em causa.

Na Figura 2 estão representados valores de referência para algumas categorias de edifícios, consoante o tipo de energia utilizada.

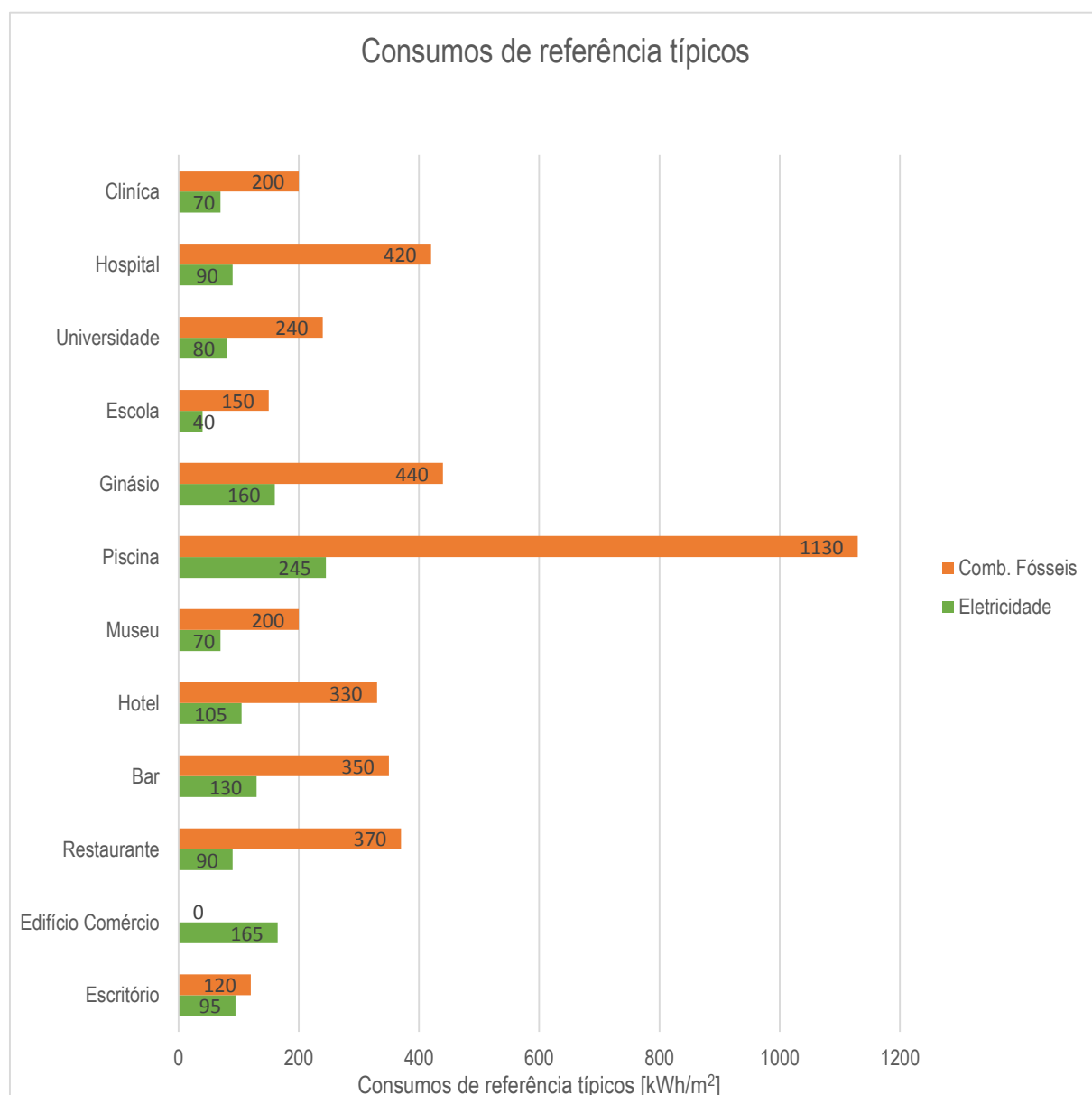


Figura 2 – Consumos de referência típicos, consoante a tipologia de edifício (Adaptado de [19]).

Como se pode comprovar pela Figura 2, diferentes tipologias de edifícios apresentam indicadores de consumo diferentes.

No entanto, apesar destes indicadores serem bastante úteis, não são totalmente representativos da realidade, pelo que necessitam de alguns ajustes/refinamentos. Uma das limitações destes indicadores reside no facto de estes não terem em consideração o clima do local onde se

encontra o edifício. Como se sabe, um edifício da mesma tipologia, por exemplo, um edifício de comércio, não consome o mesmo se estiver no Brasil ou em Portugal. No Brasil, as necessidades de arrefecimento serão muito maiores, pois o clima é bastante mais quente, e portanto, o consumo também será maior. Assim, uma das formas de minimizar este erro é fazer uma correção climática ao indicador com base nos graus dias mensais de arrefecimento. Por outro lado, a ocupação dos edifícios é outro dos fatores que influencia o valor do *benchmarking*, pois edifícios que sejam ocupados durante longos períodos e a uma grande taxa terão certamente um maior consumo de energia do que edifícios que tenham uma baixa taxa de ocupação e que sejam ocupados em curtos períodos.

Desta forma, no subcapítulo seguinte serão apresentados os principais fatores que influenciam o desempenho de um edifício e quais deverão ser considerados de forma a se obter uma correta análise do desempenho energético.

## 2.4 Desempenho energético de um edifício

De uma maneira geral, o consumo de energia de um edifício depende de diferentes fatores:

- Da dimensão de cada uma das zonas energéticas. Entende-se por zona energética o conjunto das áreas em que os sistemas energéticos têm características e padrões de funcionamento semelhantes [22];
- Da intensidade de utilização, que depende, principalmente, do número de horas em que o edifício está ocupado;
- Do clima do local de implantação;
- Da “qualidade energética do ativo”, nomeadamente da sua arquitetura (ex: área e orientação dos vãos envidraçados), construção (ex: níveis de isolamento térmico das paredes e coberturas) e sistemas energéticos (ex: iluminação e AVAC);
- Da “qualidade energética da operação”, isto é, da forma como os sistemas energéticos são geridos.

Os três primeiros fatores acima descritos são fatores de contexto, ou seja, condicionam os consumos, mas não podem ser alterados numa perspetiva de eficiência energética, pois não os conseguimos controlar. Por outro lado, os fatores relacionados com a “qualidade energética do ativo” e com a “qualidade energética da operação” decorrem de opções que são tomadas na fase de projeto e/ou manutenção e que, portanto, podem ter influência na perspetiva da eficiência energética.

Na Figura 3 estão resumidos os fatores que determinam o desempenho energético de um edifício.

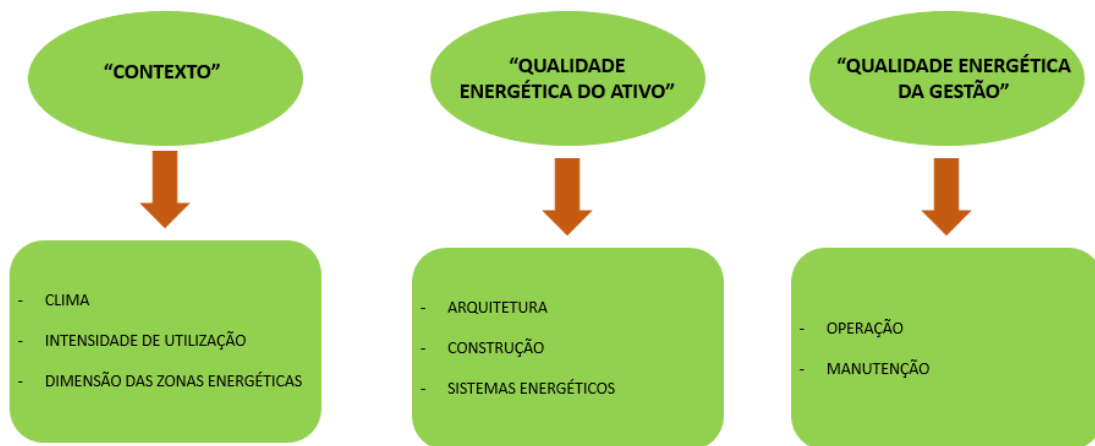


Figura 3 - Fatores que determinam o desempenho energético de um edifício.

No ramo da energia, o indicador normalmente utilizado para quantificar o desempenho energético é o consumo de energia por unidade de área. No entanto, este indicador pode levar a interpretações erradas, uma vez que pode conduzir a resultados cuja interpretação tem mais a ver com “fatores de contexto” (ex: diferenças de “*lay-out*”) do que propriamente com a qualidade do desempenho energético [23]. Desta forma, é essencial que um indicador seja capaz de expurgar os efeitos dos “fatores de contexto”. Se, por exemplo, o indicador tiver em consideração o efeito do clima, corre-se o risco de dizer que um edifício é mais eficiente do que outro só porque está num clima que lhe impõe necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento inferiores relativamente a outro num clima mais severo, o que poderia levar a conclusões erradas. Assim sendo, este efeito deve ser eliminado pois só deste modo se conseguirá obter uma indicação clara sobre a qualidade energética do edifício, dos seus sistemas energéticos e da sua operação/manutenção, permitindo uma correta hierarquização da eficiência energética.



### 3 Metodologia

Este trabalho tem como objetivo dar um contributo para o sistema de avaliação comparativa desenvolvido na empresa Edifícios Saudáveis Consultores para avaliar o desempenho energético de centros comerciais, estimando os consumos teóricos que os sistemas energéticos deveriam ter e com os quais os consumos reais deveriam idealmente ser comparados. Para isso, torna-se essencial começar por definir o que é um centro comercial e caraterizar as zonas energéticas e os sistemas energéticos mais relevantes em edifícios desta tipologia, para depois se passar à metodologia de cálculo que permite calcular o indicador de desempenho de um centro comercial.

#### 3.1 Definição de centro comercial

De acordo com o Dicionário da Língua Portuguesa um centro comercial é um recinto coberto, geralmente de grandes proporções, onde se encontram reunidas diversas lojas e serviços (cinemas, agências bancárias, etc.) e que dispõe normalmente de parque de estacionamento [24]. Segundo a Associação Portuguesa de Centros Comerciais (APCC) entende-se por *Shopping Centre* ou Centro Comercial todo o empreendimento comercial que reúna cumulativamente os seguintes requisitos (Portaria n.º 424/85 de 5 de Julho) [25]:

- a) Possua um número mínimo de 12 estabelecimentos e uma área bruta mínima de 500 m<sup>2</sup>, devendo estes exercer, na sua maior parte, atividades comerciais diversificadas e especializadas, de acordo com um plano previamente delineado;
- b) Todas as lojas devem estar instaladas num único edifício ou em edifícios contíguos interligados, devendo estes possuir zonas comuns por onde se fará, prioritariamente, o acesso às lojas nele existentes;
- c) O conjunto do empreendimento terá de possuir uma unidade de gestão, entendendo-se por esta implementação, direção e coordenação dos serviços comuns técnico-comerciais, bem como a fiscalização do cumprimento de toda a regulamentação interna;
- d) O regime de funcionamento (abertura e encerramento) dos diversos estabelecimentos deverá ser comum, com exceção dos que, pela especificidade da sua atividade, se afastem do funcionamento usual das outras atividades instaladas (ex: hipermercados, cinemas ou ginásios).

Na Figura 4 pode-se ver um exemplo de centro comercial.



Figura 4 - Exemplo de centro comercial [26].

Um centro comercial pode ser dividido em duas categorias básicas: tradicional e especializado. Um centro comercial tradicional inclui retalho indiferenciado, integrado em empreendimento fechado ou “a céu aberto”. Por outro lado, um centro comercial especializado é classificado segundo o tipo de retalho especializado ou atividade dominante. Este pode também ser um empreendimento fechado ou “a céu aberto”.

Dentro do centro comercial tradicional ou centro comercial especializado, os centros comerciais podem ainda ser divididos em diferentes tipos, consoante a sua dimensão.

Na Tabela 1 podem ser consultadas as diferentes classificações dos centros comerciais.

Tabela 1 - Classificação dos centros comerciais

FORMATO	TIPO	ABL em m <sup>2</sup>
TRADICIONAL	Muito Grande	80.000 e superior
	Grande	40.000 - 79.999
	Médio	20.000 - 39.999
	Pequeno	S/ Âncora Dominante 5.000 - 19.999
		C/ Âncora Dominante 5.000 - 19.999
	Muito Pequeno	500 - 4.999
ESPECIALIZADO	Retail Park	Grande 20.000 e superior
		Médio 10.000 - 19.999
		Pequeno 5.000 - 9.999
	Factory Outlet Centre	
	Centro Temático	Baseado em Lazer 5.000 e superior
		Não Baseado em Lazer 5.000 e superior

O objetivo de um centro comercial é reunir, num mesmo espaço, diversas propostas para que os potenciais clientes possam realizar as suas compras com maior qualidade e satisfazendo as suas necessidades de consumo sem ter de se deslocar a outro local.

Para além da oferta comercial, os centros comerciais também se caracterizam por serem um lugar de lazer e entretenimento.

## 3.2 Caracterização de um centro comercial

### 3.2.1 Zonamento

Um centro comercial é geralmente constituído pelas seguintes zonas características: zonas comuns, restaurantes, lojas, cinemas, corredores técnicos e parques de estacionamento (cobertos ou descobertos).

As zonas comuns (*mall* e praça da alimentação) de um centro comercial são o espaço por onde o público pode circular para aceder às lojas ou aos sanitários [23]. A ligação entre todo o centro comercial é portanto feita através das zonas comuns, sendo que, se existirem vários pisos, a sua interligação é feita através de escadas rolantes ou elevadores. A praça da alimentação é um exemplo de uma zona comum e é um espaço amplo e destinado ao público para comer as refeições adquiridas nos restaurantes do centro comercial.

Os restaurantes são lojas destinadas à compra de refeições já confeccionadas, situadas nas imediações da praça da alimentação. Alguns restaurantes podem ser comuns a vários centros comerciais internacionais, enquanto outros podem ser exclusivos de um determinado centro.

As lojas são os locais que se destinam à venda de produtos (ex: roupa, eletrodomésticos, mobiliário, decoração...) e serviços (ex: bancos) e podem ser divididas em lojas âncora ou lojas satélite. As lojas âncora caracterizam-se por terem uma maior área (superior a 1.000 m<sup>2</sup>) e por disporem de sistemas de climatização independentes, cuja alimentação elétrica e/ou entálpica, operação e manutenção, tipicamente não são responsabilidade do centro comercial, mas sim de cada lojista. Por outro lado, as lojas satélite são as mais pequenas (área inferior a 1.000 m<sup>2</sup>) e que são climatizadas pela central térmica do centro comercial. Além disso, é comum haver também um hipermercado ou supermercado em cada centro comercial.

Os cinemas, normalmente, dispõem de um sistema de climatização próprio e têm um horário de funcionamento diferente das restantes lojas.

Os corredores técnicos são um conjunto de corredores, de acesso interdito ao público, que permitem a comunicação entre diferentes zonas do centro comercial. Tal como o próprio nome indica, apenas é permitido o acesso ao pessoal técnico (lojistas, seguranças, técnicos de manutenção, administradores...). É através destes corredores que os lojistas têm acesso aos armazéns das lojas e que os administradores e os seguranças têm acesso à zona de administração. Além disso, é nos corredores técnicos que se encontram os quadros elétricos. As saídas de emergência são efetuadas a partir dos corredores técnicos e, nesse caso, o público já pode circular nesta zona.

Os parques de estacionamento podem ser descobertos ou cobertos. Os parques descobertos localizam-se no exterior, numa zona adjacente ao centro comercial. Os parques de estacionamento cobertos situam-se, geralmente, nos pisos subterrâneos do edifício. Neste caso, o acesso ao centro comercial é feito através de escadas rolantes ou elevadores.

### 3.2.2 Sistemas energéticos

Os centros comerciais são uma tipologia de edifícios que requer um conjunto de sistemas energéticos em funcionamento permanente para atingir as condições de conforto térmico e visuais desejadas. Assim sendo, os sistemas energéticos mais relevantes são aqueles que representam a maior parte do consumo energético e cujo funcionamento é padronizável, isto é, variam pouco de centro para centro. Além disso, apenas interessam os sistemas energéticos cuja operação é da responsabilidade do proprietário do centro comercial (alimentação elétrica e/ou entálpica e operação e manutenção). Ou seja, são excluídos os equipamentos de iluminação e sistemas de climatização das lojas autónomas. Esses são sistemas operados pelos lojistas e cujos custos energéticos são diretamente suportados por estes. Relativamente às lojas satélite, os equipamentos de iluminação são também da responsabilidade dos lojistas, não sendo, portanto alvo de análise neste trabalho, mas ao nível do sistema de climatização, estas lojas são abastecidas pela central térmica do centro comercial e, portanto, estes custos são suportados pelo proprietário do edifício. Desta forma, os principais sistemas energéticos analisados (sistemas regulados) foram:

- A iluminação das zonas comuns, dos corredores técnicos, dos parques de estacionamento cobertos e do parque de estacionamento exterior;
- O sistema AVAC (*chillers*, bombas de primário, secundário e condensação, torres de arrefecimento e unidades de tratamento de ar – ventiladores de insuflação e exaustão).

Existem também outros tipos de sistemas energéticos tais como a iluminação da fachada, iluminação decorativa e ventiladores dos parques de estacionamento cobertos. No entanto, estes sistemas não foram analisados, porque são sistemas muito variáveis de centro para centro, tornando-se difícil a padronização e, além disso, quando avaliados individualmente tornam-se pouco relevantes do ponto de vista energético.

#### • Iluminação

A luz é uma componente ambiental de extrema importância para um centro comercial pois a quantidade, qualidade e distribuição da luz num espaço condiciona o tipo de tarefas que nela se podem efetuar e tem, também, influência no conforto e na disposição psicológica dos seus ocupantes. Em climas como o português, a iluminação representa uma grande parte dos consumos energéticos de um centro comercial pois para além do consumo direto de energia elétrica para a alimentação das lâmpadas, haverá também um aumento da carga de arrefecimento a retirar dos espaços e, conseqüentemente, do consumo dos sistemas de climatização. Tal como já foi dito anteriormente, os sistemas de iluminação que são da responsabilidade do centro comercial são a iluminação das zonas comuns e praça da alimentação, iluminação dos corredores técnicos e iluminação dos parques de estacionamento cobertos e exteriores.

Estes sistemas de iluminação são bastante complexos (vários tipos de lâmpadas, zonamentos complexos,...) pelo que devem ter um controlo otimizado a fim de reduzir os custos energéticos. Na maioria dos casos, o controlo da iluminação é feito através de um sistema de

gestão centralizado, onde se podem definir, por exemplo, os horários de funcionamento dos vários circuitos de iluminação, mas também podem funcionar através de sinais de sensores de luminosidade ou sensores de presença.

O controlo através de sensores de luminosidade, também conhecido como controlo por iluminação natural, tem como princípio aproveitar a luz natural, sempre que possível. Estes sensores, que podem ser instalados no interior ou no exterior do centro comercial, permitem que a iluminação artificial seja desligada quando há disponibilidade de luz natural em quantidade suficiente. A maioria dos centros comerciais, possui um sistema de controlo por iluminação natural para zonas exteriores ou para zonas contíguas a envidraçados, onde há franca disponibilidade de luz natural. Por essa razão, é normalmente utilizado este tipo de controlo para a iluminação do das zonas comuns, pois, de uma forma geral, no piso superior existem grandes áreas de envidraçados e claraboias que permitem aproveitar, grande parte do tempo, a iluminação natural. Desta forma, a iluminação do piso em questão apenas liga se a iluminância exterior ou interior (consoante o sensor esteja no exterior ou no interior do centro comercial) for inferior a um determinado valor (ex: 18.500 lux se o sensor estiver no exterior). Com isto evita-se que, em dias com muito sol e bastante luz natural, seja necessário ligar toda a iluminação do centro comercial, conduzindo a economias significativas de energia. Este tipo de controlo também é normalmente utilizado para os parques exteriores.

A quantidade de luz natural disponível no interior de um edifício também depende da qualidade luminosa dos envidraçados, nomeadamente do fator de transmissão de iluminação natural (TLV). Este fator traduz a percentagem de luz solar que consegue atravessar um determinado tipo de vidro e está representado na Figura 5:



Figura 5 – Fator de transmissão de iluminação natural [27].

Ou seja, um vidro com uma elevada percentagem de TLV deixa passar a maior parte da luz solar para dentro do espaço, enquanto um vidro com um baixo valor de TLV restringe a passagem da maioria da luz. Assim, se os vidros do centro comercial tiverem uma boa qualidade luminosa (ex: um elevado TLV), haverá maior disponibilidade de iluminação natural dentro do espaço e, desta forma, a iluminação artificial das zonas comuns poderá ser desligada durante alguns períodos, conduzindo a menores consumos de energia e, consequentemente, menores custos.

Se o centro comercial dispuser de zonamentos de circuitos, isto é, separação de vários conjuntos de luminárias por vários circuitos independentes poder-se-á ligar apenas a iluminação necessária (algumas filas) e apenas quando necessária. Assim, seria possível, por exemplo, ligar apenas as luzes nas zonas comuns mais distantes de envidraçados, onde a iluminação natural não é suficiente. Este exemplo de controlo está esquematizado na Figura 6:

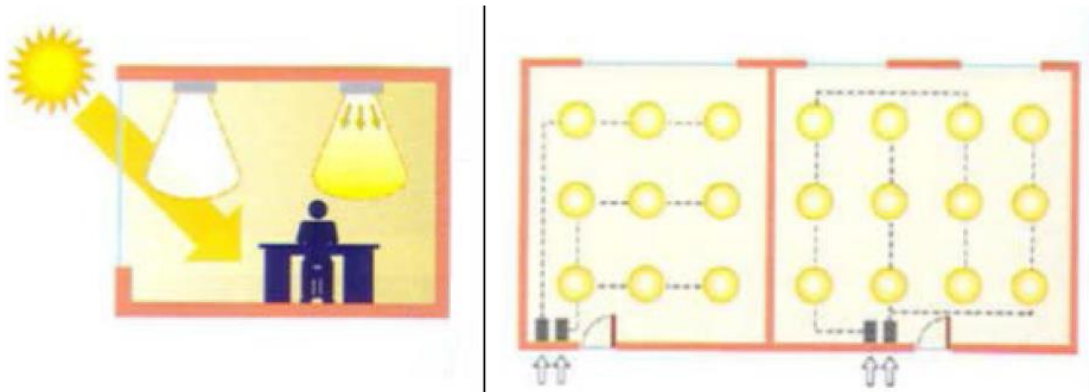


Figura 6 - Exemplificação de uma instalação com zonamento de circuitos que possibilita a comutação *on/off* [28].

O controlo por presença é feito através de sensores de presença que detetam o movimento e, em função disso, apenas ligam a iluminação quando esta é necessária [4]. Desta forma, garante-se que a iluminação está desligada quando o espaço em questão está desocupado. Este tipo de controlo é muito útil para zonas em que a ocupação seja do tipo intermitente ou imprevisível, por exemplo, nos corredores técnicos e nas áreas administrativas de um centro comercial.

- **AVAC**

Um sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) deve ser devidamente dimensionado para o controlo das condições ambientais no interior dos edifícios e, além disso, deve ser operacionalizado de forma correta, para garantir um desempenho eficiente. Um sistema de AVAC é responsável por remover a carga térmica de um espaço, de forma a satisfazer as necessidades de conforto dos ocupantes. No entanto, um sistema de climatização não tem apenas como função remover a carga térmica, mas também de garantir a qualidade do ar interior (QAI). A QAI depende essencialmente de três fatores:

- Emissão de poluentes no interior dos edifícios;
- Infiltração de poluentes do ar exterior;
- Acumulação de poluentes no interior dos edifícios devido a ventilação deficiente e baixa renovação de ar.

Um sistema de climatização pode ser dividido em três partes: geração de energia térmica, distribuição desta até ao ar a climatizar e tipos de equipamentos terminais do tratamento do ar. Na maioria dos centros comerciais em Portugal, as cargas predominantes são as de arrefecimento, pelo que apenas se analisará a produção de frio do sistema de climatização. A geração de energia térmica (água fria) é assegurada por *chillers*. Os *chillers* são equipamentos térmicos utilizados para a produção de água refrigerada que é utilizada em sistemas de climatização [29] e podem ser divididos em dois tipos:

- *Chillers* água-água;
- *Chillers* ar-água.

Os *chillers* água-água são constituídos por quatro elementos base: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. No evaporador o fluido frigorigénio evapora absorvendo o calor da água que removeu a carga térmica do espaço. Esta troca de calor irá arrefecer a água que será distribuída ao espaço a climatizar. De seguida o compressor leva o vapor frigorigénio para o condensador, aumentado a sua pressão e temperatura, e condensa devido à transferência de calor para a água fria proveniente das torres de arrefecimento. Posteriormente, o fluido frigorigénio no estado líquido passa na válvula de expansão, reduzindo a sua pressão e temperatura e regressa novamente ao evaporador, repetindo-se o ciclo.

O arrefecimento do condensador do *chiller* está, portanto, a cargo das torres de arrefecimento. Nestas, a água quente entra e é pulverizada, enquanto, em sentido contrário, circula ar exterior que foi “puxado” por um ventilador. A água quente fica então em contacto com o ar frio, provocando uma transferência de calor da água para o ar, arrefecendo a água. Esta água arrefecida cai num reservatório, localizado no fundo da torre, e entra no condensador do *chiller*. É de salientar que parte da água evapora entretanto, daí tenham de consumir água para reposição da água evaporada e para a compensação da purga, que tem de ser feita para manter a qualidade da água em níveis aceitáveis de composição de sais.

No caso dos *chillers* ar-água não são necessárias torres de arrefecimento para arrefecer a água de condensação, porque o fluido frigorigénio condensa através da troca de calor com um fluxo

de ar exterior que é forçado a passar no *chiller* (através de um ventilador). Por esta razão, estes *chillers* não têm circuito de condensação.

Na Figura 7 e 8 pode-se observar o aspeto típico de um *chiller* e de uma torre de arrefecimento.



Figura 7 - *Chiller* centrífugo água-água [30].



Figura 8 - Torre de arrefecimento [31].

Nos sistemas a água, a circulação da água entre os *chillers* e os coletores é assegurada pelas bombas do circuito primário, doravante designadas de bombas de primário. Por sua vez, a distribuição da água arrefecida nos *chillers* para o edifício é feita através das bombas do circuito secundário, geralmente denominadas de bombas de secundário. No caso dos *chillers* água-água, existem ainda as bombas de condensação, responsáveis por fazer circular a água entre o *chiller* e a torre de arrefecimento.

A energia térmica distribuída sob a forma de água fria/quente é convertida em efeito útil – ar frio/quente – em unidades de tratamento de ar (UTA's e UTAN's), nas zonas comuns, e em ventilo-convetores, nas lojas. Neste trabalho apenas foram considerados relevantes os consumos associados às unidades de tratamento de ar (ventiladores), visto que os custos associados aos ventilo-convetores instalados nas lojas são diretamente suportados pelos lojistas, não sendo da responsabilidade do centro comercial. Assim sendo, quanto aos ventilo-convetores instalados nas lojas apenas vai interessar a potência elétrica necessária para arrefecer a água (na torre de arrefecimento) que vai para os ventilo-convetores das lojas satélite.

Se o fator preponderante for remover as cargas térmicas utiliza-se uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA), que insufla o ar à temperatura desejada. Se, por outro lado, o fator preponderante for a remoção de poluentes usa-se uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) que insufla ar novo no espaço, garantindo desta forma a renovação do ar e a QAI.

Uma UTA é, portanto, um equipamento centralizado de tratamento e ventilação de ar. Estes equipamentos contêm baterias de permutadores, de aquecimento e arrefecimento, que recebem o fluido produzido na central térmica. Além disso, existem ventiladores que forçam o ar a circular por essas baterias, aquecendo-o ou arrefecendo-o. As UTA's permitem a recirculação do ar do espaço, mas também insuflam ar novo (ar exterior). É recomendável a utilização de permutadores de calor entre o ar novo e o ar de exaustão.



Na Figura 9 é possível observar a representação esquemática típica de uma UTA.

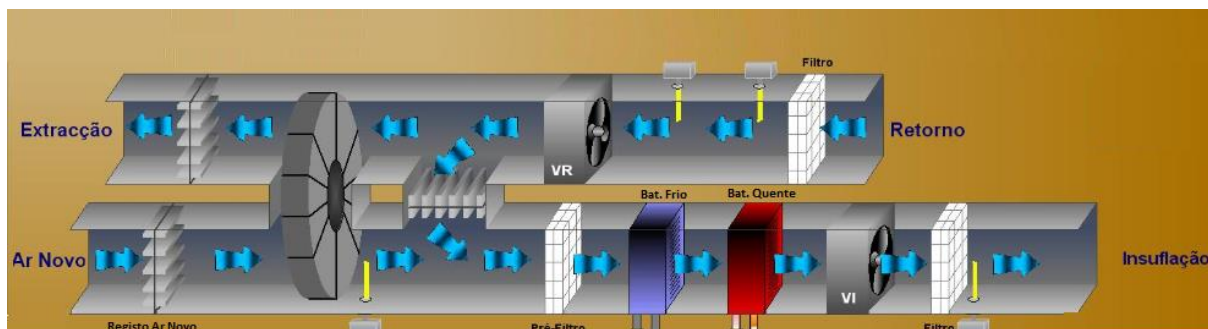


Figura 9 - Representação esquemática de uma UTA.

As UTAN's são equipamentos muito semelhantes às UTA's, sendo que a principal diferença é que estas apenas insuflam ar novo (100% ar exterior), não havendo recirculação do ar do espaço.

Na Figura 10 pode-se verificar a representação esquemática de uma UTAN.

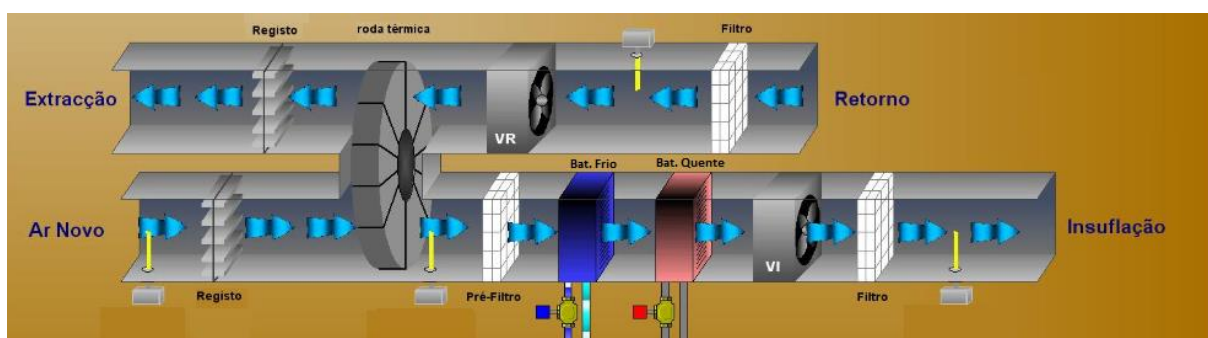


Figura 10 - Representação esquemática de uma UTAN.

Por sua vez, um ventilo-convetor é um equipamento que climatiza o espaço através da recirculação forçada de ar interior em baterias de permutadores, de aquecimento e/ou de arrefecimento, alimentadas por água quente ou fria proveniente da geração de energia térmica [32].

No que diz respeito às unidades de tratamento de ar, a maioria dos centros comerciais possui um sistema de climatização centralizado. O ar proveniente das UTA's é insuflado apenas nas zonas comuns, às condições de pressão e temperatura pretendidas, migrando depois para as lojas devido a diferenças de pressão e garantindo, desta forma, a renovação do ar e a qualidade do ar interior das mesmas. Nas lojas estão apenas instalados ventilo-convetores que são responsáveis por remover a carga térmica, garantindo desta forma as necessidades de conforto.

Nos restaurantes, a remoção de poluentes é preponderante em relação à remoção da carga térmica. Desta forma, existem UTAN's a insuflar ar novo diretamente em alguns deles, assegurando a renovação do ar nestes sítios.

Nas Figuras 11 e 12, pode-se observar o aspeto típico de uma UTA e de um ventilo-convetor.



Figura 11 - UTA [33].



Figura 12 - Ventilo-convetor [34].

Após a identificação dos sistemas energéticos relevantes de um centro comercial, é necessário identificar quais os elementos consumidores de energia, para os quais serão calculados metas operacionais, ou seja, quais as cargas reguladas. Essa informação está resumida na Figura 13:



Figura 13 - Cargas reguladas.

### 3.3 Modelo do Centro Comercial Padrão

O Centro Comercial Padrão é um modelo computacional de um centro comercial, criado pela empresa onde decorreu o trabalho conducente à elaboração desta dissertação, e cujas características foram definidas tendo em atenção as práticas correntes na maioria dos centros. Através dele é possível proceder à simulação detalhada dos consumos energéticos para um centro comercial concreto. Na Figura 14 é possível observar uma vista geral deste centro.



Figura 14 - Centro Comercial Padrão: aspeto geral [35].

Esta ferramenta tem como principal vantagem não ser necessário desenhar e definir a geometria do centro comercial em estudo. Apesar de as dimensões das diferentes zonas estarem pré-definidas no Centro Comercial Padrão, este facto não limita em nada a sua utilização como ferramenta de cálculo para centros comerciais com dimensões distintas. O principal objetivo desta ferramenta é permitir a comparação do desempenho energético entre centros comerciais distintos, através do cálculo do conjunto de indicadores de funcionamento energético relevantes expectáveis em cada local e, para isso, o efeito da dimensão do centro comercial tem de ser isolado. Assim sendo, os consumos energéticos devem ser expressos por indicadores adequados e são estes mesmos indicadores que devem ser utilizados para o cálculo do consumo energético de um centro comercial concreto. A título de exemplo, a metodologia a usar para o cálculo do consumo de energia para arrefecimento das zonas comuns está representada na Figura 15.

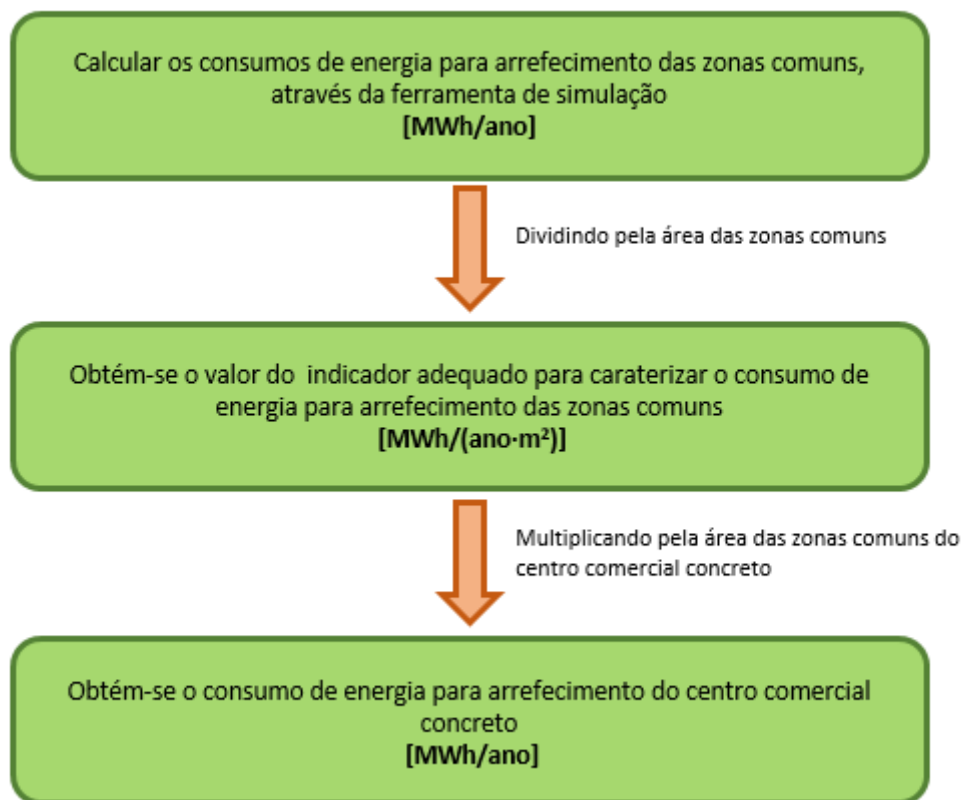


Figura 15 - Metodologia de cálculo do consumo de energia para arrefecimento das zonas comuns.

Para além disso, há outras modificações que têm de ser feitas, de forma a adaptar o Centro Comercial Padrão a um centro comercial concreto. Uma delas consiste em definir a localização geográfica do centro comercial em questão. Para isso, é necessário a existência de um ficheiro climático com as características da região de implementação.

Relativamente aos ganhos solares, estes vão ser influenciados pela área de vãos envidraçados. Assim sendo, é necessário que a percentagem de área de envidraçados, em cada orientação, do Centro Comercial Padrão seja igual à do centro comercial concreto. Isso é relativamente fácil de modificar uma vez que o Centro Comercial Padrão é um modelo flexível, que permite variar facilmente as dimensões dos vãos envidraçados verticais e das claraboias nos diferentes quadrantes, em duas estruturas retangulares – tipo claraboias – localizadas sobre as zonas comuns do piso 1. Essas estruturas retangulares estão representadas na Figura 16. É de salientar que apenas foi prevista a abertura de vãos nas zonas públicas de circulação (zonas comuns), não estando previstas situações em que as lojas disponham de vãos relevantes para o exterior (montras).



Figura 16- Vista das estruturas tipo claraboia [36].

Posteriormente, é ainda necessário modificar as características construtivas que mais influenciam as necessidades energéticas de um Centro Comercial, tais como:

- O coeficiente global de transferência de calor  $[U, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]^1$  dos elementos transparentes (envidraçados) que fazem fronteira entre as zonas comuns climatizadas e o exterior e entre as referidas zonas climatizadas e zonas interiores não climatizadas (ex.: parques de estacionamento cobertos, corredores técnicos, etc.);
- O fator solar  $[\text{SHGC}, \%]^2$  dos elementos transparentes (envidraçados) que fazem fronteira entre as zonas comuns climatizadas e o exterior;
- O fator de transmissão de iluminação natural  $[\text{TLV}, \%]^3$  dos elementos transparentes (envidraçados) que fazem fronteira entre as zonas climatizadas e o exterior;
- O coeficiente global de transferência de calor  $[U, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$  dos elementos opacos que fazem fronteira entre as zonas climatizadas e o exterior e entre as referidas zonas climatizadas e zonas interiores não climatizadas (ex.: parques de estacionamento cobertos, corredores técnicos, etc.).

É também importante definir no Centro Comercial Padrão as características de funcionamento do Centro Comercial concreto, isto é, os ganhos internos relevantes. Para isso têm de se definir os perfis de habitação da iluminação e da ocupação em cada zona e os ganhos relativos à iluminação, ocupação e equipamentos. Relativamente ao sistema de climatização tem de se adaptar o sistema de climatização do Centro Comercial Padrão ao do centro comercial concreto, ou seja, têm de se definir as mesmas capacidades de controlo (*free-cooling*, recuperadores de calor, variadores de velocidade...) e insuflar caudais nos espaços do Centro Comercial Padrão na mesma proporção dos que são insuflados no centro real.

Mais detalhes sobre o Centro Comercial Padrão podem ser consultados no Anexo A.

<sup>1</sup> Este coeficiente está relacionado com a quantidade de calor que atravessa um determinado elemento devido à diferença de temperatura entre a sua superfície interior e exterior.

<sup>2</sup> SHGC: “Solar Heat Gain Coefficient” – Este coeficiente está relacionado com a quantidade de calor que atravessa um envidraçado devido à incidência de radiação solar na sua superfície.

<sup>3</sup> TLV: “Visible Light Transmission” – Este coeficiente está relacionado com a quantidade de radiação luminosa que atravessa um envidraçado devido à incidência de radiação solar na sua superfície.

Fazendo todos estes ajustes, o Centro Comercial Padrão fica “moldado” ao centro comercial concreto, e, portanto, estão reunidas todas as condições para se poder fazer uma correta simulação energética do mesmo. Para isso, recorreu-se ao programa de simulação IES, cujas características e funcionalidades podem ser consultadas no Anexo B.

### **3.4 Benchmarking operacional**

Uma vez apresentadas as ferramentas computacionais utilizadas para o cálculo dos consumos teóricos de um Centro Comercial, estão reunidas as condições para se proceder à explicação da metodologia utilizada para o cálculo do *benchmarking* operacional.

#### **3.4.1 Definição**

O *benchmarking* operacional é uma ferramenta de gestão que dá informação sobre a qualidade energética da gestão corrente do centro (“qualidade energética da gestão”). Este indicador é obtido dividindo o consumo real de cada centro pelo seu consumo teórico expectável (meta operacional). O consumo real do edifício é conhecido através das faturas do centro comercial. No entanto, se se pretender analisar individualmente cada sistema, é essencial que o centro comercial possua um bom sistema de contagens parciais, que permita dividir o consumo total do centro em subsistemas mais pequenos. A meta operacional corresponde ao consumo teórico dos sistemas energéticos efetivamente instalados caso fossem mantidos e operados em condições ótimas de eficiência.

Para conhecer o *benchmarking* operacional de um centro comercial é portanto necessário calcular as metas operacionais dos sistemas energéticos relevantes, seguindo para isso, uma metodologia de cálculo que será descrita no subcapítulo seguinte.

### 3.4.2 Metodologia de cálculo

Para se calcular o *benchmarking* operacional é necessário calcular as metas operacionais. Para isso tem de se conhecer as potências médias tomadas de cada sistema regulado em cada zona energética. É importante salientar que a potência média tomada é um conceito diferente da potência instalada. A potência instalada corresponde à potência total do sistema regulado. Dividindo esse valor pela área da zona onde esse sistema regulado se encontra (de forma a eliminar o efeito da dimensão de diferentes zonas) obtém-se a potência específica superficial da zona energética:

$$PES = \frac{P_{instalada}}{A_{zona}} [W/m^2] \quad (3.1)$$

Onde:

PES, é a potência específica superficial

$P_{instalada}$ , é a potência instalada, e

$A_{zona}$  é a área da zona energética

Por sua vez, a potência média tomada é apenas a potência média que é consumida, visto que nem todos os equipamentos estão continuamente ligados. Dando um exemplo prático, se se considerar a iluminação de um parque de estacionamento, a potência instalada é a potência total de todas as lâmpadas a dividir pela área de parque, enquanto a potência média tomada corresponde à potência média que é consumida enquanto a iluminação do parque está ligada. A potência média tomada pode ser exprimida através da equação 3.2:

$$PMT = \frac{P_{instalada}}{A_{zona}} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ horas efetivas}}{n^{\circ} \text{ horas potenciais}} [W/m^2] \quad (3.2)$$

Onde:

PMT, é a potência média tomada,

$P_{instalada}$ , é a potência instalada, e

$A_{zona}$ , é a área da zona energética

A metodologia para o cálculo do *benchmarking* operacional é a seguinte:

- 1) Divisão do centro comercial em 5 zonas energéticas distintas: zonas comuns, lojas climatizadas pelo centro, corredores técnicos, parques cobertos e parques descobertos;
- 2) Identificação e caracterização dos principais sistemas energéticos de cada zona. Esses sistemas energéticos são denominados de sistemas regulados ou cargas reguladas, uma vez que são os sistemas que representam a maior parte dos consumos energéticos de um edifício e cujo funcionamento é padronizável (variam pouco de centro para centro), podendo ser facilmente reguladas/controladas;
- 3) Definição para cada zona energética, das condições de eficiência dos principais sistemas energéticos efetivamente instalados no centro comercial;
- 4) Ajuste das características do centro comercial concreto ao modelo do Centro Comercial Padrão (área de envidraçados, características construtivas, ganhos internos...);



**5) Para os sistemas de iluminação:**

- a) Levantamento da potência total instalada em cada zona energética e determinação da respetiva potência específica superficial, dividindo a potência instalada pela área da respetiva zona energética;
- b) Para o caso de centros comerciais que possuam controlo por iluminação natural para as zonas comuns e parque exterior, faz-se a simulação energética do Centro Comercial Padrão, recorrendo ao programa de simulação IES, para obtenção da iluminância e dos ganhos internos de iluminação das zonas comuns. Com isto, é possível saber quando é que a iluminação destas zonas esteve efetivamente ligada, uma vez que esta só liga quando a iluminação natural não é suficiente;
- c) Cálculo da potência média tomada por unidade de área em cada zona energética e em cada condição de funcionamento.

**6) Para os equipamentos do sistema de AVAC (*chillers*, bombas de primário, bombas de secundário, bombas de condensação e torres de arrefecimento):**

- a) Simulação energética do Centro Comercial Padrão para obtenção das necessidades térmicas das zonas comuns e das lojas satélite do Centro Comercial Padrão;
- b) Cálculo dos indicadores adequados para caracterizar as necessidades térmicas do das zonas comuns e das lojas, dividindo as necessidades térmicas obtidas para o Centro Comercial Padrão pelas respetivas áreas;
- c) Cálculo das necessidades térmicas do centro comercial concreto, multiplicando os indicadores anteriormente obtidos para as zonas comuns e para as lojas satélite pelas respetivas áreas reais (de zonas comuns e de lojas satélite) do centro comercial em estudo;
- d) Correção climática das necessidades térmicas obtidas (através dos graus-dia de arrefecimento de base 15°C), de forma a obter as necessidades no ano em análise, visto que as necessidades térmicas retiradas do programa de simulação correspondem a um ano de referência;
- e) Cálculo do consumo teórico anual de cada equipamento do sistema regulado (AVAC);
- f) Cálculo da potência média tomada por unidade de área de cada equipamento de AVAC, dividindo o consumo teórico anual pela área da zona energética e pelo número de horas anuais em que o sistema de climatização funcionou.

**7) Cálculo do consumo energético teórico anual de cada sistema regulado em cada zona energética, multiplicando a potência média tomada em cada condição de funcionamento pela área da zona energética em questão e pelo número de horas anuais de funcionamento nessa condição. Este valor de consumo corresponderá à meta operacional de cada sistema regulado;**

**8) Para os ventiladores de insuflação e de extração das UTA's e UTAN's:**

- a) Simulação energética do Centro Comercial Padrão para obtenção dos consumos de energia relativos aos ventiladores de insuflação e extração;



- b) Cálculo do indicador adequado para caracterizar o consumo total de ventilação, dividindo o valor de consumo total obtido para o Centro Comercial Padrão pelas respetiva área das zonas comuns;
  - c) Cálculo do consumo total dos ventiladores de insuflação e de extração das UTA's e UTAN's do Centro Comercial concreto (meta operacional), multiplicando o indicador anteriormente obtido pela área das zonas comuns do centro comercial em estudo.
- 9) Cálculo da meta operacional total, que corresponde ao somatório das várias metas operacionais calculados para cada sistema regulado;
  - 10) Identificação do consumo energético total anual real, que pode ser obtido através da análise das faturas energéticas;
  - 11) O *benchmarking* operacional será dado pela equação 3.3:

$$\text{Benchmarking Operacional} = \frac{\text{consumo real (faturas)}}{\text{meta operacional}} \quad (3.3)$$

### 3.5 Determinação de Consumos

Para se conhecer o desempenho energético de um centro comercial é essencial calcular os consumos teóricos dos sistemas energéticos relevantes, isto é, das cargas reguladas. Para determinar o consumo dos diferentes sistemas energéticos é necessário definir as características padrão desses sistemas, bem como o seu período de funcionamento. A forma como os sistemas devem operar em cada condição de funcionamento (horário de abertura ao público, horário de cinema, encerramento, etc) resulta de um conhecimento profundo de como funciona um centro comercial, de quais as suas rotinas e de como devem ser geridos da melhor forma os seus sistemas. Nos subcapítulos seguintes será explicado como são calculados os consumos energéticos (de iluminação e dos equipamentos de AVAC) de um Centro Comercial.

#### 3.5.1 Iluminação

Um centro comercial tem consumos de iluminação nas zonas comuns, corredores técnicos, parques de estacionamento cobertos e parques de estacionamento descobertos. Relativamente à iluminação dos corredores técnicos e dos parques de estacionamento cobertos, o cálculo do consumo energético é muito simples e direto. Em primeiro lugar, é necessário efetuar um levantamento de iluminação de cada local, a fim de se obter a potência total instalada e consequentemente, a potência específica superficial, dividindo esse valor pela área da zona. Posteriormente, na grande parte dos casos, a iluminação não está totalmente ligada durante todo o dia, portanto, é necessário conhecer o perfil de iluminação das diferentes zonas. Dando o exemplo de uma zona em que a iluminação apenas está 100% ligada durante o horário de abertura ao público e depois está a 33% durante o horário de cinemas e a 10% nas restantes

horas (horário de encerramento), o perfil diário de iluminação seria o representado na Figura 17.

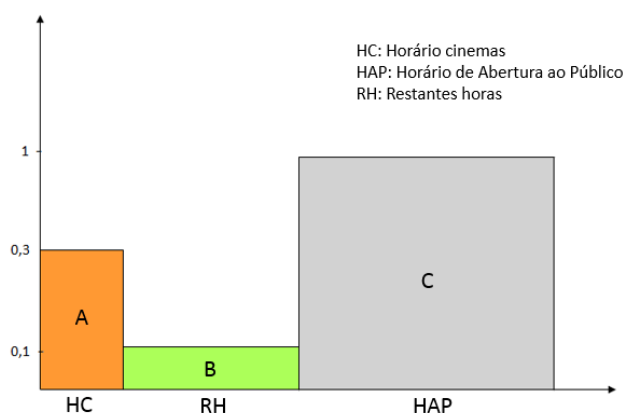


Figura 17 - Exemplo de um perfil de iluminação.

Assim, para cada período (horário de abertura ao público, horário de cinema e restantes horas) teríamos uma potência média tomada [ $\text{W/m}^2$ ], dependente da percentagem de iluminação ligada em cada período, que seria obtida pela multiplicação da potência específica superficial pela percentagem de iluminação em cada período. Finalmente, o consumo anual seria dado pelo somatório das diferentes potências médias tomadas a multiplicar pelo respetivo período de funcionamento e pela área da zona (equação 3.4):

$$\text{Consumo anual} = (PMT_A \cdot HC + PMT_B \cdot RH + PMT_C \cdot HAP) \cdot A_{\text{zona}} \quad (3.4)$$

Onde:

$PMT$ , é a potência média tomada [ $\text{W/m}^2$ ]

HC, é o número de horas anuais de cinema

RH, é o número de horas anuais de encerramento do Centro Comercial

HAP, é o número de horas anuais de abertura ao público, e

$A_{\text{zona}}$ , é a área da zona energética

Para a iluminação das zonas comuns e parques de estacionamento exteriores, o cálculo não é tão direto, uma vez que o consumo devido à iluminação vai depender da iluminação exterior. Ou seja, durante o horário de abertura ao público, como estas zonas normalmente têm controlo por iluminação natural, a iluminação só vai estar ligada se a iluminação exterior não for suficiente. Assim sendo, para se estimar os consumos de iluminação, torna-se necessário utilizar o programa de simulação IES, cujas características e funcionalidades podem ser consultadas no Anexo B, com a ferramenta do Centro Comercial Padrão, que já foi abordada anteriormente. Através deste programa e adaptando o Centro Comercial Padrão ao centro comercial em análise, obtêm-se os ganhos internos devidos à iluminação das zonas comuns, bem como a iluminação

exterior do centro comercial. A partir daí é possível calcular o consumo de iluminação das zonas comuns para o horário de abertura ao público, sendo que, nos restantes períodos a metodologia de cálculo é igual à apresentada anteriormente para os corredores técnicos e parques de estacionamento cobertos.

Para os parques de estacionamento exteriores, o consumo no horário de abertura ao público é calculado em função da iluminação exterior, impondo a condição de que a iluminação só estará ligada se a iluminância exterior for inferior a um determinado valor de lux (ex: 100 lux). Assim, consegue-se obter o número de horas em que a iluminação está efetivamente ligada e multiplicando este valor pela potência média tomada [ $\text{W/m}^2$ ] e pela área da zona [ $\text{m}^2$ ] obtém-se o consumo devido à iluminação neste período. Para os restantes períodos aplica-se a metodologia já aqui descrita.

### 3.5.2 AVAC

Relativamente aos consumos associados ao AVAC, o cálculo não é tão direto, uma vez que os consumos irão depender das necessidades térmicas do espaço. Para isso, é necessário fazer a simulação energética do espaço, recorrendo ao programa de simulação IES.

Através da simulação obtém-se um perfil horário com a carga que os sensores das baterias (das UTA's ou dos ventilo-convetores) sentem a cada instante e é a partir destes valores que é possível saber o consumo do *chiller*, quantos equipamentos (*chillers*, bombas,...) estão em funcionamento a cada instante e a percentagem de carga aos quais operam. Assim, para cada hora do ano é possível saber o consumo energético de cada componente do sistema, sendo que, para se conhecer o total anual, apenas é necessário somar todas as horas.

É de salientar que as necessidades obtidas para as zonas comuns e para as lojas através do programa de simulação são para o Centro Comercial Padrão. Assim sendo, é necessário exprimir as necessidades térmicas, em unidades específicas [ $\text{W/m}^2$ ] pois a dimensão do Centro Comercial Padrão é diferente da do centro comercial concreto. Para se obter as necessidades térmicas para o centro comercial concreto basta então multiplicar as necessidades térmicas específicas pela respetiva área. Esta metodologia está apresentada na Figura 18:

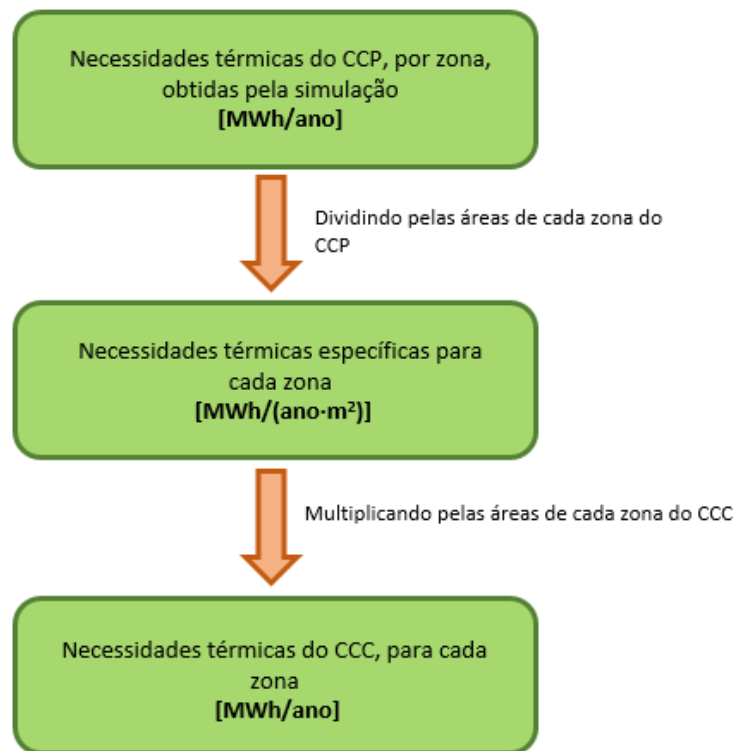


Figura 18 - Metodologia para o cálculo das necessidades térmicas.

Além disso, as necessidades obtidas pelo programa de simulação correspondem a um ano de referência. Contudo, o que se pretende é calcular consumos em anos específicos e, por isso, é necessário efetuar uma correção climática, baseada numa correlação, de forma a obter as necessidades num ano específico. Essa correlação é obtida através da relação entre os graus-dia de arrefecimento de base 15 °C, calculados através das temperaturas exteriores verificadas no Centro Comercial Padrão, e as necessidades térmicas obtidas pelo programa de simulação para o ano de referência. Foi escolhida a base 15 °C por ser a temperatura mais próxima da média anual da região onde está localizado o centro comercial em estudo, conduzindo a uma melhor correlação entre os dados.

Na Figura 19 está representada uma correlação obtida:

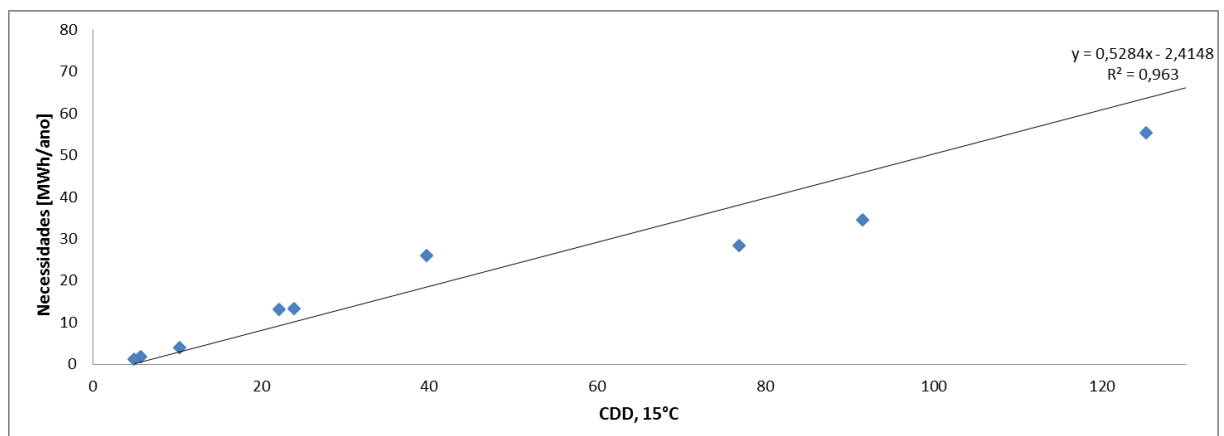


Figura 19 - Correção climática para as necessidades de arrefecimento.

Assim, conhecendo os graus-dia de arrefecimento mensais de base 15 °C e as necessidades térmicas obtidas para o ano de referência (através da simulação) obtém-se uma correlação dada pela equação 3.5:

$$Necessidades = 0,5284 \cdot GDA - 2,4148 \quad (3.5)$$

Onde:

*GDA*, são os graus-dia de arrefecimento de base 15 °C

Aplicando esta equação aos graus-dia de arrefecimento de base 15 °C verificados para um ano específico, obtêm-se as necessidades térmicas reais nesse ano. Assim, conhecendo as necessidades térmicas e o funcionamento de cada equipamento do sistema de AVAC é possível calcular os consumos teóricos dos diferentes equipamentos.



## 4 Caso de estudo: Centro Comercial A

Neste capítulo será apresentado e caracterizado o edifício em estudo, o Centro Comercial A, para o qual será calculado o *benchmarking* operacional. Além disso, será apresentada a desagregação de consumos verificada em 2014 e será explicado como foram determinados os consumos teóricos nesse ano, para este centro em concreto.

### 4.1 Apresentação

O Centro Comercial A está localizado em Leiria e é constituído por 5 pisos que se diferenciam da seguinte forma:

- Pisos -2 e -1: Parques de estacionamento cobertos;
- Piso 0: Lojas e hipermercado;
- Piso 1: Lojas, restaurantes, praça da alimentação e cinema;
- Piso 2: Área técnica e administrativa.

Este centro está aberto ao público 365 dias por ano, das 10 h às 23 h, e contém uma ampla e diversificada oferta de lojas, serviços e áreas de lazer, sendo constituído por 119 lojas, das quais 21 são Restaurantes, perfazendo uma área bruta total de 33.270 m<sup>2</sup>.

O levantamento de áreas efetuado para este centro comercial, bem como os horários de funcionamento de cada zona, podem ser consultados na Tabela 10 e na Tabela 11 do Anexo C, respetivamente.

## 4.2 Caracterização dos sistemas energéticos

### 4.2.1 Iluminação

Na Tabela 2 estão resumidas as principais características dos sistemas de iluminação do Centro Comercial A, bem como os racionais que foram considerados para o cálculo dos consumos teóricos.

Tabela 2 - Características dos sistemas de iluminação do Centro Comercial A

Zona	Pot. Instalada [kW]	Dens. Pot. [W/m <sup>2</sup> ]	Racional
Zonas comuns	117	15,7	<ul style="list-style-type: none"><li>• A iluminação das zonas comuns apenas permanece ligada durante o horário de funcionamento do Centro Comercial quando a iluminação exterior é inferior a 18.500 lux (controlo por iluminação natural);</li><li>• Durante o horário de cinema a iluminação só está ligada a 33%;</li><li>• Durante o horário de encerramento a iluminação está a 10%.</li></ul>
Corredores técnicos	16,4	8,93	<ul style="list-style-type: none"><li>• A iluminação dos corredores técnicos está ligada a 50% durante todo o dia.</li></ul>
Parques cobertos	88,3	1,95	<ul style="list-style-type: none"><li>• A iluminação dos parques de estacionamento cobertos apenas está ligada durante o horário de funcionamento do centro comercial (HAP + 1h/dia).</li></ul>
Parque exterior	28,0	1,85	<ul style="list-style-type: none"><li>• A iluminação do parque exterior apenas permanece ligada durante o horário de funcionamento do centro comercial quando a iluminação exterior é inferior a 100 lux (sistema equipado com controlo por iluminação natural).</li></ul>

Os perfis de iluminação considerados para cada zona podem ser consultados no Anexo D (Figuras 37 a 44).



#### 4.2.2 AVAC

A central térmica do Centro Comercial A é composta por dois *chillers* água-água e duas torres de arrefecimento. O transporte da água no circuito hidráulico é feito através das bombas de primário, bombas de secundário e bombas de condensação. A energia térmica distribuída sob a forma de água fria é convertida em efeito útil – ar frio – em unidades de tratamento de ar (UTA's e UTAN's), nas zonas comuns, e em ventilo-convetores, nas lojas. Na Tabela 3 estão representadas as características principais destes equipamentos bem como os racionais considerados para o cálculo dos consumos.

Tabela 3 - Características do sistema de AVAC do Centro Comercial A

Equipamento	Pot. elétrica instalada [kW]	Qtd.	Racional
<i>Chiller</i>	304	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Chillers</i> água - água;</li> <li>• Potência térmica unitária=619 kW;</li> <li>• Os <i>chillers</i> têm uma eficiência de 4,07, no entanto, com o decorrer da idade e da deficiente limpeza dos seus componentes, é natural que a eficiência real do <i>chiller</i> seja menor;</li> <li>• São controlados em função das necessidades térmicas do espaço e, portanto, pelo menos um deles vai estar em funcionamento sempre que houver necessidades térmicas;</li> <li>• O segundo <i>chiller</i> entra em funcionamento quando as necessidades são superiores à potência elétrica unitária do <i>chiller</i> e, nesse caso, os dois têm de estar em funcionamento, trabalhando ambos com a mesma carga.</li> </ul>
Bombas de primário	15	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As bombas de primário estão encravadas com os respetivos <i>chillers</i>;</li> <li>• Funcionam a velocidade constante;</li> <li>• Estão ligadas sempre que os respetivos <i>chillers</i> estiverem em funcionamento.</li> </ul>
Bombas de secundário	33	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possuem variadores de velocidade (VSD).</li> </ul>
Bombas de condensação - <i>Chiller</i>	22	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As bombas de condensação estão encravadas com os respetivos <i>chillers</i>;</li> <li>• Funcionam a velocidade constante.</li> </ul>
Torres de arrefecimento	44	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potência térmica total=4.718 kW;</li> <li>• Os ventiladores das torres de arrefecimento estão equipados com variadores de velocidade (VSD).</li> </ul>
Bombas de condensação - Lojas	74	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possuem variadores de velocidade (VSD).</li> </ul>
UTAS's e UTAN's	207,9	4 UTA's 8 UTAN's	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas as UTA's e UTAN's possuem recuperador de calor;</li> <li>• Ventiladores com variação de velocidade (VSD);</li> <li>• Potência total insuflação=132,7 kW;</li> <li>• Potência total de extração=75,2 kW.</li> </ul>

Na Tabela 12 do Anexo C podem ser consultadas mais características sobre as UTA's e UTAN's instaladas neste Centro Comercial.

Na Figura 20 pode-se ver uma representação esquemática da central térmica do Centro Comercial A:

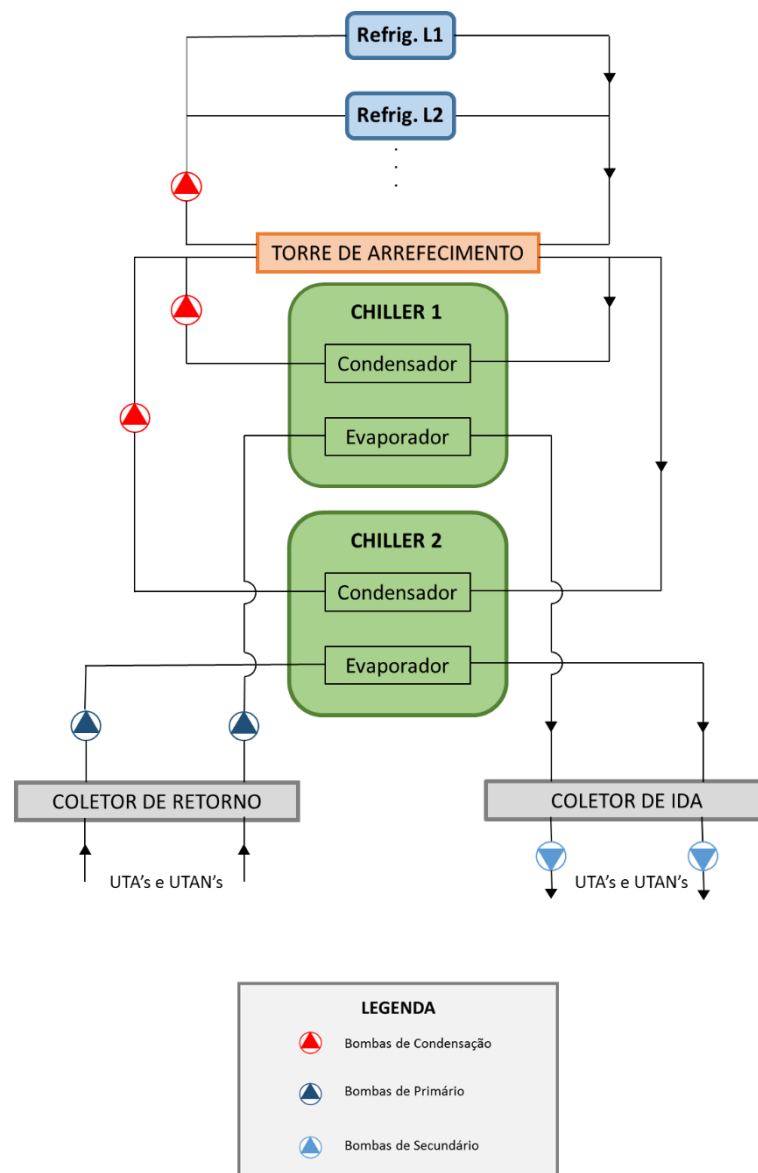


Figura 20 - Representação esquemática da central térmica do Centro Comercial A.

Como se pode comprovar pela análise da Figura 20, a produção de água refrigerada é assegurada por *chillers* e por refrigeradores. Os *chillers* produzem a água refrigerada para arrefecer as zonas comuns. Por sua vez, para as lojas satélite, a água refrigerada é produzida em refrigeradores (Refrig.) próprios de cada loja, cujos custos são diretamente suportados pelos lojistas. Desta forma, para este trabalho apenas vai interessar o consumo do *chiller* e não o consumo dos refrigeradores, visto que estes equipamentos não são da responsabilidade do centro comercial.

A água refrigerada produzida nos *chillers* ou nos refrigeradores é posteriormente distribuída e convertida em efeito útil – ar frio – em unidades de tratamento de ar (UTA's e UTAN's), nas zonas comuns, e em ventilo-convetores, nas lojas satélite.

Mais uma vez, é de salientar que neste trabalho apenas foram considerados relevantes os consumos associados às unidades de tratamento de ar (ventiladores), visto que os custos associados aos ventilo-convetores instalados nas lojas são diretamente suportados pelos lojistas, não sendo da responsabilidade do centro comercial. Assim sendo, quanto aos ventilo-convetores instalados nas lojas apenas vai interessar a potência elétrica necessária para arrefecer a água (na torre de arrefecimento) que vai para os ventilo-convetores das lojas satélite.

### 4.3 Desagregação dos consumos reais

Tal como já foi anteriormente referido, os consumos reais são conhecidos através de auditorias ao Centro Comercial ou através de uma rede de contagens parciais em diferentes sistemas e equipamentos. Estes consumos foram disponibilizados pela empresa onde decorreu a dissertação e encontram-se resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Desagregação dos consumos de 2014 do Centro Comercial A

Consumo elétrico do Centro Comercial A [MWh/ano]					
Ano	AVAC	Iluminação e transporte vertical	Parques	Outros	TOTAL
2014	1003	836	369	806	3014

O consumo relativo ao AVAC inclui os consumos do *chiller*, bombas de primário, bombas de secundário, bombas de condensação, torres de arrefecimento e dos ventiladores das UTA's e das UTAN's. Por sua vez, o contador relativo à iluminação e transporte vertical inclui os consumos de iluminação das zonas comuns, iluminação dos corredores técnicos e o transporte vertical. No subsistema parques, é contabilizada a iluminação dos parques cobertos e do parque exterior, bem como a ventilação dos parques cobertos. Os restantes consumos do centro estão implícitos na parcela “Outros”.

Na Figura 21 pode-se observar a desagregação dos consumos reais, por utilização, para 2014.

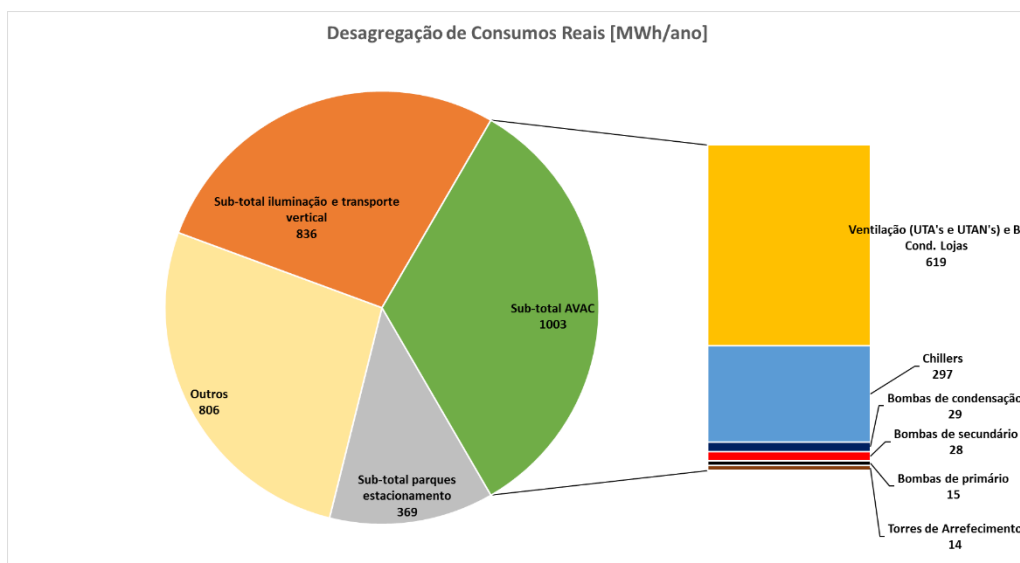


Figura 21 - Desagregação dos consumos de 2014 do Centro Comercial A.

Da análise da Figura 21, constata-se que as componentes do AVAC e da iluminação representam mais de metade do consumo total do centro comercial, daí a importância de estes sistemas serem operados da forma mais eficiente possível.

No Anexo F podem ser consultados os consumos reais verificados em 2012 e 2013.

#### 4.4 Consumos teóricos (*metas*)

##### 4.4.1 Iluminação

Os consumos teóricos de iluminação do Centro Comercial A, foram calculados seguindo a metodologia exposta no subcapítulo 3.5.1 e tendo em conta o funcionamento da iluminação em cada zona, caracterizado no subcapítulo 4.2.1. Assim, os resultados obtidos para os consumos de iluminação estão resumidos na Tabela 5:

Tabela 5 - Consumos dos sistemas de iluminação

Zona	Consumo [MWh/ano]
Zonas comuns	554
Corredores técnicos	72
Parques Cobertos	540
Parque Exterior	47

As potências médias tomadas obtidas para o sistema de iluminação e que foram utilizadas para o cálculo das respetivas metas, podem ser consultadas na Tabela 19 do Anexo F.

##### 4.4.2 AVAC

Para determinar os consumos dos equipamentos AVAC do Centro Comercial A é necessário conhecer as necessidades térmicas do centro comercial. Para isso tem de se simular um sistema de climatização semelhante ao real, no Centro Comercial Padrão, com as mesmas capacidades de controlo (*free-cooling*, recuperação de calor, variadores de velocidade nos ventiladores) e insuflando caudais nos espaços na mesma proporção dos que são insuflados no centro real.

O Centro Comercial A dispõe de um sistema centralizado, no qual o ar é apenas insuflado nas zonas comuns, migrando depois para as lojas, onde há apenas ventilo-convetores para garantir a temperatura desejada nas mesmas. Desta forma, o esquema do sistema AVAC implementado no Centro Comercial A está representado na Figura 22:

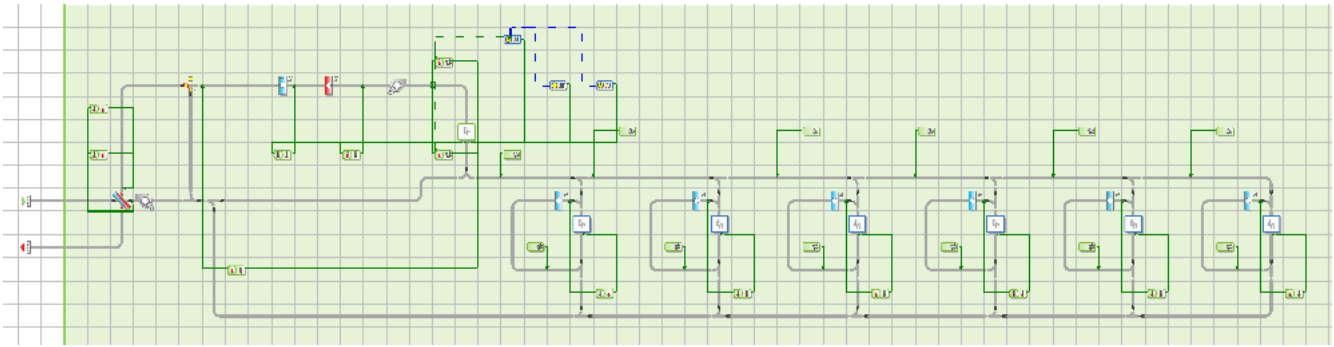


Figura 22 - Esquema do sistema de AVAC implementado no Centro Comercial A.

Para reduzir os consumos das unidades de tratamento de ar e dos restantes elementos do sistema de AVAC (*chillers* e auxiliares), sem prejuízo da boa qualidade do ambiente interior, deverá ser implementada uma filosofia de controlo que minimize o funcionamento dos ventiladores e maximize o recurso ao *free-cooling*, pois o pretendido é simular o comportamento dos equipamentos para cumprirem a sua função, gastando o mínimo possível, isto é, sendo muito eficientes.

Para isso, no caso do Centro Comercial A foram definidos *set-points* de funcionamento para a temperatura interior e para os pontos ótimos de arranque e paragem, que podem ser consultados no Anexo E.

Desta forma, fazendo a simulação energética deste sistema de climatização, obtêm-se as necessidades térmicas para as zonas comuns e para as lojas satélite. Com isto, e após introduzir no Centro Comercial Padrão as características que o permitem aproximar-se do Centro Comercial A (e que podem ser consultadas no Anexo D), conseguem-se determinar os consumos energéticos dos seguintes equipamentos - *chillers*, bombas de primário, bombas de secundário, bombas de condensação, ventiladores das torres de arrefecimento e ventiladores das UTA's e UTAN's – conhecendo as características e o modo de funcionamento de cada um.

A geração de energia térmica deste centro é assegurada por dois *chillers* centrífugos “água-água”, sendo que a potência de cada *chiller* é de 619 kW<sub>t</sub>. Estes são controlados em função das necessidades térmicas do espaço em cada instante e, portanto, pelo menos um deles vai estar ligado sempre que houver necessidades térmicas, sendo o valor do consumo desse *chiller* igual ao valor das necessidades nesse instante. No entanto, muitas das vezes, apenas um destes equipamentos não é suficiente para satisfazer as necessidades do espaço. Nestes casos, o segundo *chiller* entra em funcionamento. Assim sendo, sempre que as necessidades térmicas do espaço são superiores à potência elétrica unitária do *chiller*, os dois têm de estar em funcionamento, trabalhando ambos com a mesma carga. Isto porque este tipo de *chillers* são mais eficientes a baixas percentagens de carga, facto que é comprovado pela curva do EER do *chiller* representada na Figura 23.

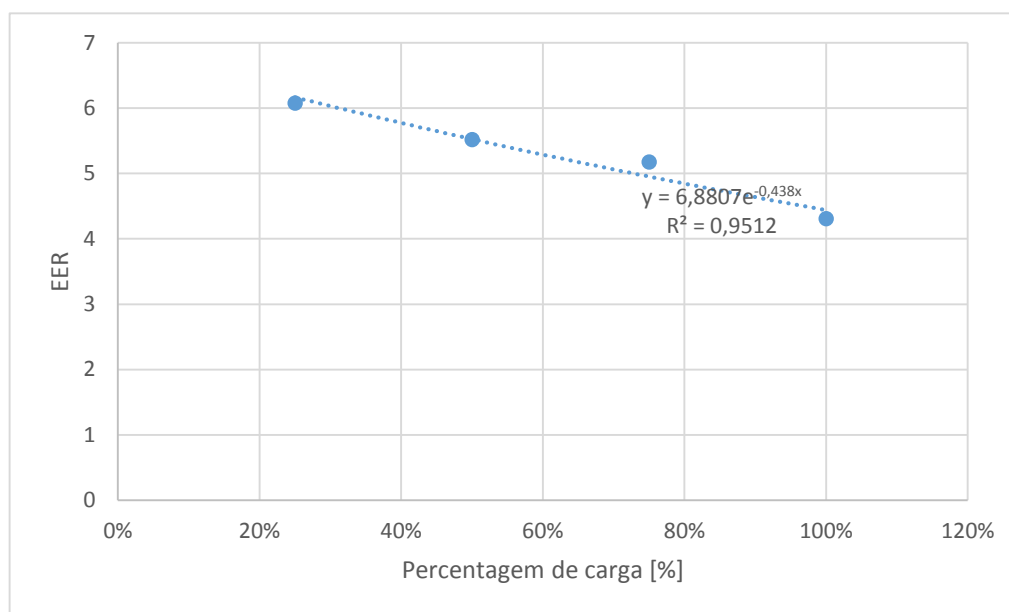


Figura 23 - EER do *chiller* em função da percentagem de carga.

Como as bombas de primário e as bombas de condensação estão encravadas com o respetivo *chiller*, estas estão ligadas sempre que o(s) respetivo(s) *chiller*(s) estiverem em funcionamento.

Neste centro comercial, a climatização é feita através de um Sistema de Volume de Ar Variável (VAV). Nestes sistemas, a temperatura de insuflação é constante, e o caudal de ar insuflado é ajustado, em ventiladores com variação de velocidade (VSD - *Variable Speed Drive*), de forma a garantir a remoção da carga térmica existente. Estes equipamentos permitem a variação da velocidade e consequentemente do caudal de ar que é insuflado em cada espaço e, desta forma, é possível obter economias significativas de energia porque em vez de os ventiladores terem de estar a funcionar continuamente à velocidade máxima (insuflando o máximo de caudal), podem diminuir ou aumentar a velocidade e assim, apenas insuflam a quantidade de caudal necessária, consoante as necessidades térmicas dos espaços. Além disso, os equipamentos com VSD têm necessidades de manutenção mais reduzidas, pois a possibilidade de variação da velocidade leva a um menor desgaste e danos nos equipamentos.

No Centro Comercial A, além dos ventiladores de insuflação e de extração, existem outros equipamentos que possuem variadores de velocidade (VSD): as bombas de secundário, as bombas de condensação das lojas e os ventiladores das torres de arrefecimento.

Para os ventiladores de insuflação e extração das UTA's e UTAN's, o consumo de energia é obtido diretamente a partir do programa de simulação, através da potência dos ventiladores a cada instante. No entanto, estes valores são obtidos para o Centro Comercial Padrão, e portanto é necessário fazer a correção de áreas, isto é, dividir o consumo total devido à ventilação das UTA's e UTAN's pela área das zonas comuns do Centro Comercial Padrão e multiplicar pela área das zonas comuns do Centro Comercial A. Desta forma, ficam calculados os consumos de ventilação correspondentes ao Centro Comercial A.

Para os restantes equipamentos, o consumo a cada instante foi calculado através de uma equação proveniente da norma ASHRAE 90.1, Anexo G. Segundo esta norma, o consumo dos equipamentos com VSD pode ser calculado, em função da fração de carga, pela equação 4.1:

$$Consumo = Pot \cdot (0,0013 + 0,147 \cdot F_{carga} + 0,95 \cdot F_{carga}^2 - 0,0998 \cdot F_{carga}^3) \quad (4.1)$$

Onde:

$Pot$ , é a potência elétrica do equipamento, e

$F_{carga}$ , é a fração de carga do equipamento, a cada instante

A fração de carga das bombas de secundário é obtida dividindo as necessidades das zonas comuns em cada instante pelo máximo das necessidades do espaço (equação 4.2).

$$F_{carga,B.Sec.} = \frac{\dot{Q}_{zonas\ comuns}}{\dot{Q}_{chillers}} \quad (4.2)$$

Onde:

$\dot{Q}_{zonas\ comuns}$ , são as necessidades das zonas comuns a cada instante, e

$\dot{Q}_{chiller}$ , é a potência térmica dos *chillers*, que corresponde ao valor máximo das necessidades das zonas comuns

Para as bombas de condensação das lojas, o raciocínio é semelhante, sendo a fração de carga obtida pela divisão das necessidades das lojas em cada instante pelo valor máximo dessas necessidades.

Para os ventiladores da torre de arrefecimento a fração de carga em cada instante é calculada através da equação 4.3:

$$F_{carga,TorreArref} = \frac{\dot{Q}_{condensador}}{\dot{Q}_{torre}} \quad (4.3)$$

Onde:

$\dot{Q}_{torre}$ , é potência térmica total das torres de arrefecimento, e

$\dot{Q}_{condensador}$ , é a potência térmica do condensador e é dado pela equação 4.4:

$$\dot{Q}_{condensador} = \left( \frac{1 + EER_{chiller}}{EER_{chiller}} \right) \cdot \dot{Q}_{zonas\ comuns} + \left( \frac{1 + EER_{refrigerador}}{EER_{refrigerador}} \right) \cdot \dot{Q}_{lojas} \quad (4.4)$$

Na Tabela 6 estão representados os consumos teóricos (metas) calculados para os diferentes equipamentos do sistema de AVAC, para 2014.

Tabela 6 - Consumos teóricos AVAC (2014)

<b>Equipamento</b>	<b>Consumo [MWh/ano]</b>
<i>Chillers</i>	101
Bombas Primário	19
Bombas Secundário	26
Bombas Condensação - <i>Chiller</i>	28
Torres Arrefecimento	61
Bombas Condensação - Lojas	195
UTA's e UTAN's	343

Os consumos teóricos correspondentes aos anos de 2012 e 2013 podem ser consultados na Tabela 22 do Anexo F. Para além disso, as potências médias tomadas obtidas para os diferentes anos e as correções climáticas efetuadas para as necessidades térmicas das zonas comuns e das lojas climatizadas podem também ser consultadas no Anexo F.



## 5 Apresentação e análise de resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para o cálculo do *benchmarking* operacional do Centro Comercial A, de forma a avaliar o desempenho energético deste centro. Já foi referido anteriormente que para se determinar este indicador é necessário calcular as potências médias tomadas dos sistemas de iluminação e de AVAC, para posteriormente, ser possível calcular os respetivos consumos teóricos (metas) que, comparando com os consumos reais, permitem chegar ao valor do *benchmarking* operacional do centro comercial em estudo.

Relativamente aos sistemas de iluminação, sabe-se que os consumos teóricos, de uma maneira geral, não vão variar significativamente, de um ano para outro. Por essa razão, apenas foram calculados os consumos teóricos (metas) para o ano de 2014 e considerou-se que esses consumos iriam ser iguais em 2012 e em 2013. Contudo, para os sistemas de AVAC isto já não acontece, uma vez que os consumos vão depender das necessidades energéticas e estas, como se sabe, variam de ano para ano. Desta forma, para os sistemas de AVAC, foram calculados os consumos teóricos para 3 anos diferentes (2012, 2013 e 2014), fazendo a correção climática das necessidades, através dos graus-dia de arrefecimento mensais de base 15 °C do ano que se queria analisar. Tendo isto pode-se avaliar a evolução do desempenho energético ao longo dos anos.

Assim, no subcapítulo 5.1 apenas se irão demonstrar e analisar os resultados obtidos para o ano de 2014 e, no subcapítulo seguinte, será feita uma análise à evolução dos consumos e consequentemente, do *benchmarking* operacional ao longo do tempo, isto é, para os anos de 2012, 2013 e 2014.

## 5.1 Desempenho energético do Centro Comercial A em 2014

Na Tabela 7 pode-se consultar o consumo real, a meta operacional e o respetivo *benchmarking* de cada componente dos sistemas energéticos.

Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos para o *benchmarking* operacional

		Consumo Real (MWh/ano)	Meta Operacional (MWh/ano)	Benchmarking Operacional (MWh/ano)
ILUMINAÇÃO	Zonas comuns	617	554	1,11
	Corredores técnicos	42	72	0,59
	Parques cobertos	198	540	0,37
	Parques exteriores	36	47	0,77
	<b>Sub-total</b>	<b>893</b>	<b>1.213</b>	<b>0,74</b>
AVAC	<i>Chillers</i>	297	101	2,95
	Bombas primário	15	19	0,79
	Bombas secundário	28	26	1,08
	Bombas condensação <i>chillers</i>	29	28	1,02
	Torres arrefecimento	14	61	0,24
	UTA's, UTAN's e b.cond.lojas	619	538	1,15
	<b>Sub-total</b>	<b>1.003</b>	<b>774</b>	<b>1,30</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1.896</b>	<b>1.988</b>	<b>0,95</b>

A informação apresentada na Tabela 7 pode ser resumida na Figura 24 seguinte:

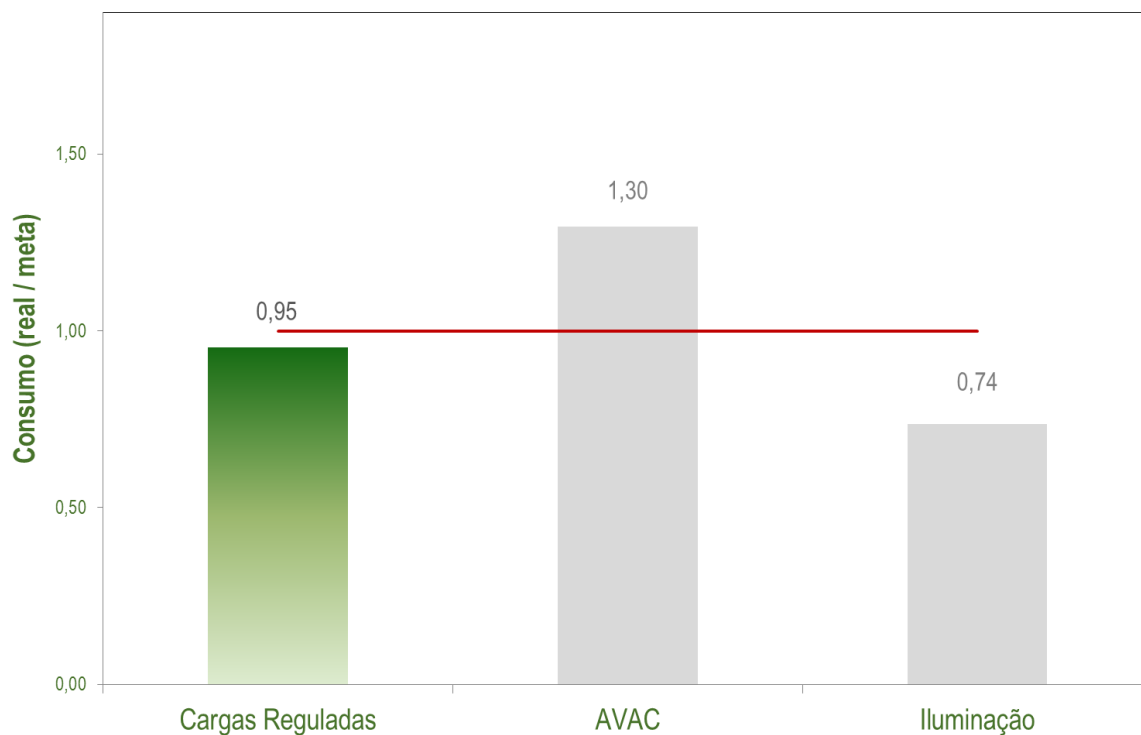


Figura 24 - *Benchmarking* operacional das cargas reguladas do Centro Comercial A.

Observando a Figura 24 conclui-se que o *benchmarking* operacional para o conjunto das cargas reguladas (AVAC e iluminação) é de 0,95, o que significa que o consumo real está praticamente em linha com a meta operacional, evidenciando uma boa gestão e operação do centro comercial. No entanto, embora o desempenho global dos sistemas regulados esteja praticamente em linha com o consumo teórico, isso não significa que não existam oportunidades de melhoria em determinados componentes energéticos. Assim, para uma análise mais rigorosa do desempenho, será detalhado o valor de *benchmarking* obtido para cada um dos equipamentos de iluminação e AVAC.

Através da Figura 25, pode-se fazer uma análise individual ao *benchmarking* operacional do sistema de iluminação.

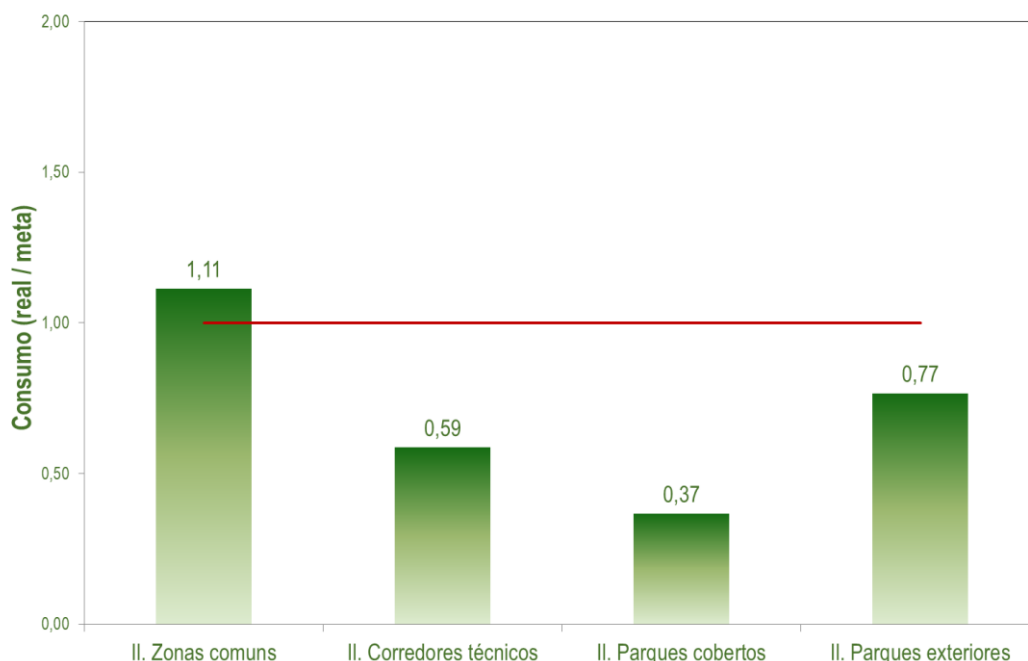


Figura 25 - *Benchmarking* operacional dos sistemas de iluminação.

Analisando em particular a iluminação verifica-se que o consumo real de iluminação das zonas comuns está em linha com o consumo teórico calculado (*benchmarking* de 1,11). A diferença de valores pode ser explicada por, na realidade, a iluminação das sancas do piso 1 permanecer ligada desde as 5 h até às 10 h, para a limpeza do centro comercial (situação que não foi considerada no cálculo da meta operacional). No entanto, esta iluminação é mais decorativa, não sendo essencial para se garantir uma boa limpeza. Desta forma, a iluminação neste período pode ser garantida pela iluminação de iodetos metálicos, que poderá ser ligada apenas a 33% durante este período. Além disso, para o cálculo da meta operacional considerou-se que a iluminação só ligava às 8 h e apenas quando a iluminância exterior fosse inferior a 18.500 lux.

Para os parques de estacionamento cobertos verifica-se que o consumo real é inferior à meta operacional. Isto deve-se a uma alteração da estratégia de gestão, na qual se definiu que a

iluminação de um dos pisos deve estar desligada sempre que possível, tipicamente em períodos de menor ocupação de público; e ao ajuste dos níveis de serviço nestas zonas, que permitiu manter permanentemente desligados alguns dos circuitos de iluminação instalados. Essas considerações não foram tomadas no cálculo das metas operacionais e daí este baixo valor de *benchmarking* obtido.

Relativamente à iluminação dos corredores técnicos e parques de estacionamento exteriores nota-se que o consumo real é inferior à meta operacional (*benchmarking* de 0,59 e 0,77, respetivamente). Isto pode ser o resultado de uma rigorosa estratégia de gestão, mas também, do facto de estas utilizações provavelmente não estarem a ser medidas com 100% de representatividade.

Por sua vez, os resultados obtidos para os equipamentos de AVAC estão representados na Figura 26:

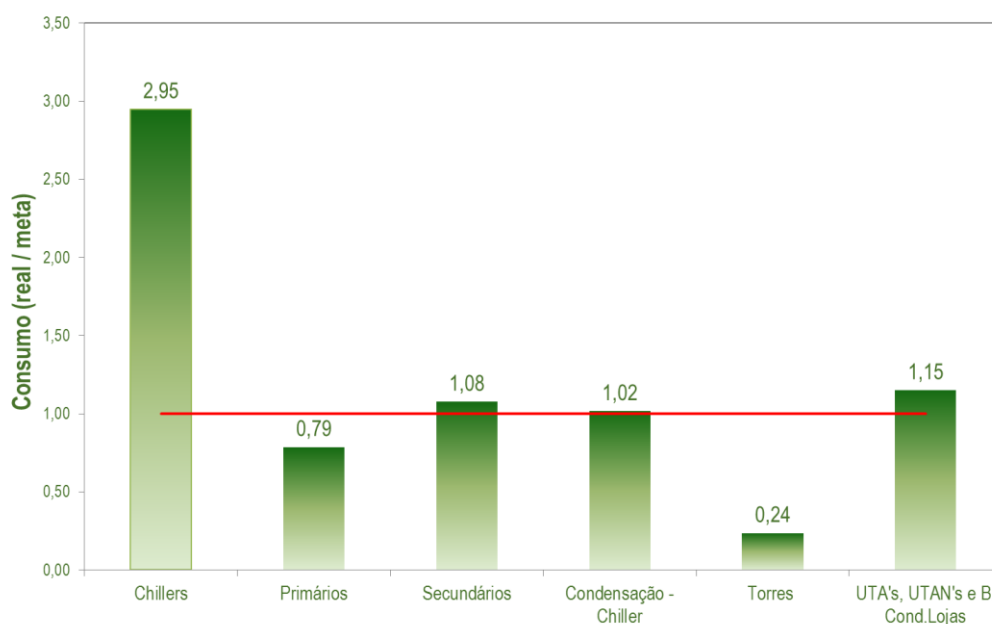


Figura 26 - *Benchmarking* operacional dos equipamentos de AVAC.

Assim, se analisarmos em particular o AVAC, Figura 26, percebe-se que o consumo real dos *chillers* é muito superior à meta operacional. Isto acontece porque o controlo de temperatura interior das zonas comuns, na realidade, é mais rigoroso (mais apertado) do que o controlo convencional para o cálculo da meta operacional, o que naturalmente origina consumos superiores. Além disso, a meta operacional foi calculada considerando um EER de 4,07, no entanto, na realidade, pode-se ter verificado uma redução do nível de eficiência do *chiller* face ao valor de catálogo, devido à acumulação de sujidade no condensador (problema recorrente neste centro comercial devido ao facto de a torre de arrefecimento ser partilhada entre os *chillers* e os refrigeradores das lojas). Por outro lado, é também possível que os lojistas tenham mantido os refrigeradores desligados e as portas abertas, beneficiando assim de arrefecimento gratuito, mas à custa de um aumento dos consumos dos *chillers*.

Relativamente às torres de arrefecimento, o *benchmarking* é de apenas 0,24, o que significaria que o consumo real, em 2014, seria muito inferior à meta operacional. No entanto, isto não é

plausível, o que leva a crer que o contador das torres de arrefecimento não esteve a funcionar corretamente e, portanto, este valor não é representativo da realidade. Desta forma, não é possível efetuar uma análise realista a este equipamento. Além disso, o já referido comportamento dos lojistas (refrigeradores desligados e portas abertas) também pode ter contribuído para o baixo valor de consumo real obtido para as torres de arrefecimento. Assim, esta contagem apenas é plausível se as lojas estiveram com os refrigeradores desligados.

Quanto aos restantes componentes (bombas de primário, bombas de secundário, bombas de condensação do *chiller*, UTA's, UTAN's e bombas de condensação das lojas), o consumo real é aproximadamente igual à meta operacional, o que demonstra uma boa gestão deste Centro. Assim, obtém-se um *benchmarking* de 1,3 para o total do AVAC, que é de certa forma influenciado pelo elevado consumo real do *chiller*.

Conseguem-se assim justificar os maiores desvios encontrados, o que realça a vantagem de usar uma ferramenta como esta como um meio para reduzir erros e identificar e melhorar as práticas correntes de gestão de um centro comercial. Para além disso, permite direcionar os esforços de redução de consumos para os sistemas que aparentam ter maior potencial para serem otimizados.

Comparando a fatura total do edifício com o consumo teórico obtido para os sistemas regulados, obtém-se um *benchmarking* operacional de 1,52, como se pode comprovar pela Figura 27:

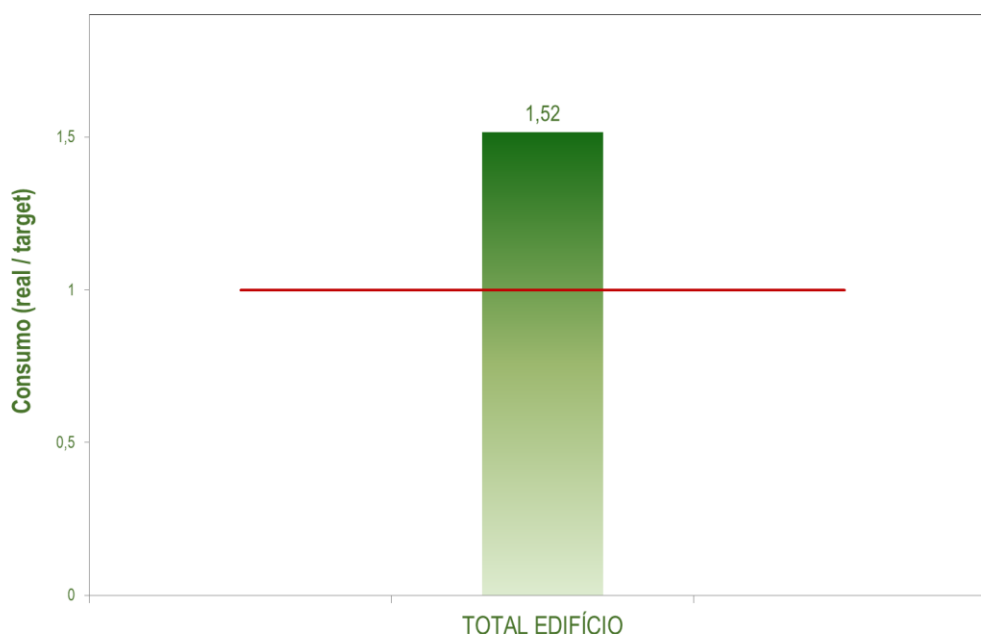


Figura 27 - *Benchmarking* total do Centro Comercial A.

É de salientar que neste indicador, na parcela dos consumos reais estão incluídos todos os consumos do centro comercial, contrariamente ao considerado para o cálculo dos consumos teóricos. Para estes últimos só foram calculadas consumos teóricos (metas) para as cargas reguladas, isto é, para os sistemas energéticos que representam a maior parte do consumo do edifício e cujo funcionamento é padronizável, ou seja, para a iluminação e para os equipamentos

de AVAC. Assim sendo, a fatura do edifício não reflete apenas o consumo da iluminação e do AVAC, mas também outros consumos como a iluminação decorativa, a ventilação dos parques de estacionamento... Desta forma, é natural o valor elevado obtido para o *benchmarking* operacional (1,52). No entanto, analisando apenas o consumo real total das cargas reguladas e comparando este consumo com a meta calculada conclui-se que o desempenho energético deste centro é bastante satisfatório (*benchmarking* operacional de 0,95 para as cargas reguladas).

## 5.2 Evolução do desempenho energético do Centro Comercial A

Uma vez que só se dispunha dos consumos reais discriminados por sistema para os anos de 2013 e 2014, apenas se fez a comparação do *benchmarking* para estes dois anos.

Os resultados obtidos estão representados na Figura 28:



Figura 28 - Comparação do *benchmarking* operacional do Centro Comercial A em 2013 e 2014.

De uma maneira geral, pode-se verificar que o *benchmarking* operacional diminuiu de 2013 para 2014, o que evidencia que as medidas propostas para a diminuição dos consumos foram colocadas em prática. De seguida serão analisados os equipamentos cuja variação do *benchmarking* operacional de 2013 para 2014 tenha sido significativa, isto é, superior a 30%.

Maior exemplo disso são as bombas de condensação do *chiller*. Como se pode observar pela Figura 28, o *benchmarking* operacional destes equipamentos sobe de 0,14, em 2013, para 1,02, em 2014. Este aumento não é muito fidedigno, o que indicia que o valor do consumo real obtido em 2013 para as bombas de condensação muito provavelmente não está correto pois um

consumo de 4 MWh/ano é muito baixo comparativamente com o consumo de 2014 (29 MWh/ano). Por isso, o mais provável é ter havido um problema com o contador, o que levou a uma deficiência nas contagens de energia fornecidas. Assim, na realidade, o consumo real em 2013 deve ter sido semelhante ao de 2014 (29 MWh/ano) e, se assim fosse, o consumo real já seria aproximadamente igual à meta operacional e, conseqüentemente, o desempenho energético destas bombas em 2013 seria semelhante ao de 2014.

O *benchmarking* do *chiller*, por sua vez, sofreu uma redução de 37%, pois o consumo real do *chiller*, em 2014, já foi muito inferior ao de 2013 (435 MWh/ano em 2013 comparativamente a 297 MWh/ano em 2014). Esta redução deveu-se a uma alteração da estratégia de controlo. No entanto, este consumo ainda pode ser reduzido pois ainda está aquém da meta operacional estimada, o que significa que ainda é possível melhorar o desempenho deste equipamento.

Para as torres de arrefecimento também houve uma redução significativa (32%), no entanto, estes equipamentos não podem ser alvo de uma análise realista uma vez que, os consumos reais obtidos para as torres de arrefecimento nestes dois anos são muito baixos, o que indicia que o contador não tenha estado a funcionar corretamente.

Para os parques de estacionamento cobertos verifica-se uma redução de, aproximadamente, 52% para o *benchmarking* operacional. Esta redução deve-se ao facto de a partir de 2013, uma parte da iluminação ter sido desligada, resultado de uma rigorosa estratégia de gestão.

Para o ano de 2012 só se conhecia o consumo energético total do edifício, pelo que, apenas se conseguiu comparar o desempenho global do edifício nos diferentes anos. Essa evolução está traduzida na Figura 29:

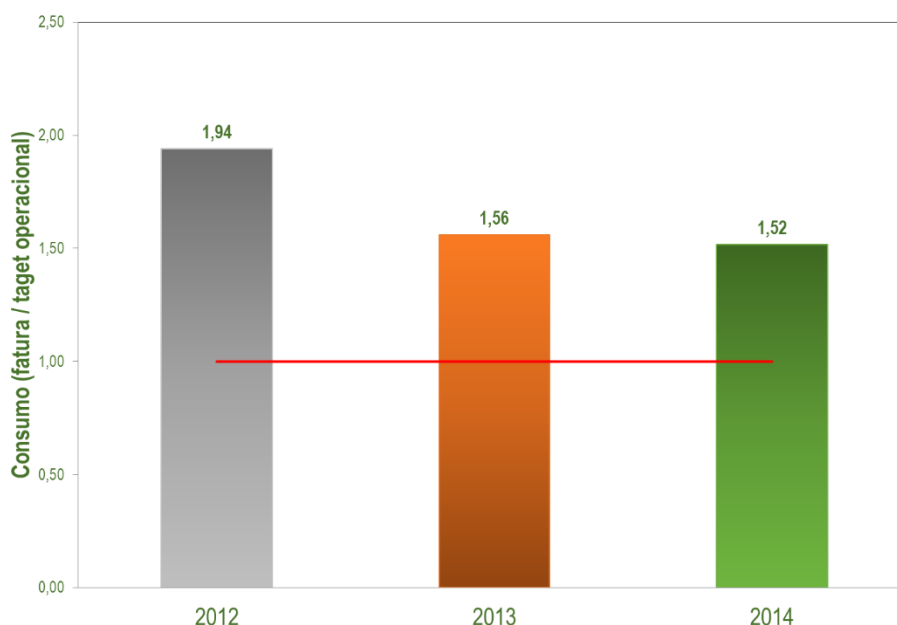


Figura 29 - Evolução do desempenho energético do Centro Comercial A.

Tal como era desejável, o *benchmarking* operacional diminuiu ao longo dos anos, sendo que, em dois anos (de 2012 para 2014), a redução foi de 22%, o que demonstra uma boa gestão energética deste centro.





## 6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Tendo em conta a necessidade atual de redução da fatura energética, têm surgido várias ferramentas que permitem uma eficaz gestão de energia nos edifícios de forma a aumentar a eficiência energética dos mesmos.

Idealmente, a eficiência energética poderia ser conseguida através da substituição dos equipamentos existentes num edifício por outros mais eficientes e que fossem mantidos e operados em condições ótimas de eficiência. Contudo, dado o atual cenário de crise que o país atravessa, há poucos meios para realizar investimentos e, portanto, esta medida, muita das vezes, não é possível de ser concretizada. Assim, uma das formas de reduzir os custos energéticos passa por aumentar a eficiência energética dos sistemas energéticos realmente instalados no edifício. Para isso é necessário que estes sejam mantidos e operados em condições ótimas de eficiência.

Uma das formas de avaliar a qualidade energética da operação e manutenção do sistema em causa é através do *benchmarking* operacional. Este indicador fornece informação sobre a qualidade energética da gestão corrente do edifício, permitindo comparar o desempenho energético do mesmo com o desempenho de outros edifícios da mesma tipologia, ou até mesmo com desempenhos anteriores obtidos pelo edifício. No entanto, é importante que estes indicadores sejam capazes de expurgar os efeitos dos “fatores de contexto”, como o clima, a intensidade de utilização e a dimensão das zonas energéticas, pois só desta forma é possível obter uma indicação clara sobre a qualidade energética do edifício, dos seus sistemas energéticos e da sua operação/manutenção.

O *benchmarking* operacional é calculado dividindo o consumo real (obtido através da faturação energética) pela meta operacional. A meta operacional é o consumo energético anual teórico expectável que o edifício deveria ter caso os sistemas/equipamentos efetivamente instalados fossem mantidos e operados em condições ótimas de eficiência.

Com este trabalho, pretendia-se, essencialmente, calcular o *benchmarking* operacional de um centro comercial concreto. Para isso, foi necessário identificar quais as zonas energéticas e os sistemas energéticos relevantes para o cálculo de metas operacionais. Neste caso, apenas foram alvo de análise os sistemas energéticos cuja operação é da responsabilidade do proprietário do centro comercial. Ou seja, excluíram-se, por exemplo, os sistemas de iluminação das lojas, que são da responsabilidade de cada lojista, bem como o sistema de climatização das lojas âncora.

Estas lojas têm um sistema de climatização independente (autónomo), e portanto não são abastecidas pela central térmica do centro comercial.

Posteriormente, definiu-se uma metodologia de cálculo para a avaliação de desempenho deste tipo de edifícios e que fosse capaz de expurgar os efeitos dos fatores de contexto. Para os sistemas de iluminação, a metodologia de cálculo é bastante simples e direta. No entanto, para os sistemas de AVAC, o raciocínio não é tão simples, pois é necessário efetuar uma simulação energética (recorrendo ao programa de simulação IES) de forma a obter as necessidades térmicas. Apenas conhecendo as necessidades térmicas e o modo de funcionamento de cada equipamento é que é possível calcular os respetivos consumos teóricos.

Aplicando esta metodologia aos diferentes sistemas energéticos foi então possível calcular o *benchmarking* operacional que permitiu avaliar o desempenho energético do edifício. Quanto menor for este indicador mais eficientes serão as rotinas de operação e manutenção que lhes são aplicáveis. Assim, o ideal seria que o *benchmarking* operacional apresentasse o valor de um. Neste caso, o consumo real do edifício coincidiria com o consumo teórico calculado, o que quereria dizer que o centro comercial em estudo estaria a ser operado e mantido a condições ótimas de eficiência.

Este indicador além de permitir uma análise global do desempenho energético do edifício, possibilita ainda analisar o desempenho energético de cada um dos componentes ou sistemas consumidores de energia individualmente. Isto é extremamente útil porque, muitas das vezes, constata-se que o desempenho global do edifício é bastante satisfatório, mas fazendo esta análise individual aos diferentes sistemas ou equipamentos verifica-se que existem ainda oportunidades de melhoria em determinados componentes energéticos. Assim, comparando os consumos reais com as metas calculadas rapidamente se identificam os sistemas que apresentam um desvio relevante relativamente à meta e identificam-se as razões para essa ineficiência. Com esta análise é possível aferir o desempenho energético do edifício em estudo, compará-lo com o desempenho obtido por outros edifícios da mesma tipologia e, desta forma, identificar e transportar as melhores práticas e métodos para os edifícios que têm uma performance inferior.

Por último, convém sublinhar que estes indicadores não devem ser vistos como ferramentas estatísticas para reduzir erros, mas sim como uma orientação para aquilo que são as boas práticas e rotinas de operação.

Assim, com base nos resultados obtidos do *benchmarking* operacional desenvolvido para o caso concreto do Centro Comercial A, foi possível concluir que:

- As componentes do AVAC e da iluminação representam mais de metade do consumo total do Centro Comercial A, daí a importância de estes sistemas serem operados da forma mais eficiente possível;
- Em 2014, cerca de 91,3% do consumo energético despendido na iluminação foi devido às zonas comuns (617 MWh/ano) e parques de estacionamento cobertos (198 MWh/ano), sendo os restantes 8,7% atribuídos aos corredores técnicos (42 MWh/ano) e aos parques de estacionamento exteriores (36 MWh/ano);

- Relativamente ao AVAC, os maiores consumos foram devidos às UTA's, UTAN's e bombas de condensação das lojas (619 MWh/ano) e aos *chillers* (297 MWh/ano), representando 61,7% e 29,6% dos consumos totais, respetivamente. Os restantes componentes bombas de primário, bombas de secundário, bombas de condensação dos *chillers* e torres de arrefecimento apresentaram um consumo total de 86 MWh/ano, o que representa cerca de 8,6% do consumo energético em AVAC;
- O *benchmarking* operacional para o conjunto das cargas reguladas (AVAC e iluminação), em 2014, foi de 0,95, o que significa que o consumo real está praticamente em linha com a meta operacional, evidenciando uma boa gestão energética do Centro Comercial;
- O maior desvio entre o consumo real e a meta operacional foi observado nos *chillers* (traduzido por um valor de *benchmarking* operacional de 2,95), previsivelmente devido ao controlo de temperatura interior das zonas comuns que, na realidade, é mais rigoroso (mais apertado) do que o controlo convencionado para o cálculo da meta operacional;
- O valor de *benchmarking* obtido para as torres de arrefecimento foi de apenas 0,24, o que leva a crer que o contador das torres de arrefecimento não esteve a funcionar corretamente durante o ano de 2014;
- Em relação aos restantes componentes (bombas de primário, bombas de secundário, bombas de condensação do *chiller*, UTA's, UTAN's e bombas de condensação das lojas), o consumo real foi aproximadamente idêntico ao consumo teórico calculado, o que demonstra uma boa gestão energética deste centro comercial;
- O *benchmarking* operacional para o conjunto dos componentes da iluminação foi de 0,74, o que significa que o consumo real está relativamente abaixo da meta operacional, demonstrando, assim, o bom desempenho energético do Centro Comercial A relativamente ao subsistema iluminação;
- O menor valor de *benchmarking* foi obtido para os parques de estacionamento cobertos (0,37), previsivelmente devido ao ajuste dos níveis de serviço nestas zonas, que permitiu manter desligados alguns dos circuitos de iluminação instalados e porque se definiu que a iluminação de um dos pisos deve estar desligada sempre que possível;
- Idêntica situação foi verificada na iluminação dos corredores técnicos e parques de estacionamento exteriores (*benchmarking* é de 0,59 e 0,77, respetivamente) o que indicia que a iluminação tenha sido desligada durante alguns períodos do dia;
- No que refere à evolução do desempenho energético do centro comercial ao longo do tempo, foi possível constatar uma ligeira redução do *benchmarking* operacional de 2013 para 2014 decorrentes da aplicação de algumas medidas tendentes à diminuição dos seus consumos energéticos;
- De entre os diferentes sistemas analisados, são de salientar a evolução dos valores do *benchmarking* do *chiller* que sofreu uma redução de 37%, embora ainda seja possível melhorar o desempenho deste equipamento na medida em que o seu consumo ainda está aquém da meta operacional estimada, bem como da iluminação dos parques de estacionamento cobertos, nos

quais se verificou uma redução de 52% do *benchmarking* decorrente de uma parte da iluminação ter sido desligada a partir de 2013.

Relativamente a trabalhos futuros, será interessante adotar uma metodologia deste tipo a outras tipologias de edifícios, começando por identificar os principais sistemas consumidores de energia, as rotinas mais eficientes que os sistemas devem ter e calcular os consumos teóricos dos mesmos, de forma a avaliar o desempenho energético dos edifícios, detetar eventuais situações de ineficiência e permitir a sua correção.

## Referências

- [1] Rodrigues, Á., *Apontamentos de Energias Renováveis*, 2014, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [2] Edifícios Saudáveis Consultores. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.edificiossaudaveis.pt>.
- [3] EDP. *Dicas de Eficiência Energética*. Disponível a 18/06/2015 em: <https://www.edp.pt/pt/particulares/bemvindoaedp/Guia%20Eficiencia%20Energetica/Guia%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>.
- [4] Landsberg, D., et al., *Energy Efficiency Guide for Existing Commercial Buildings: Case for Building Owners and Managers* ed. ASHRAE. 2009.
- [5] ADENE. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.adene.pt/eficiencia-energetica>.
- [6] Brandão, F., *Eficiência e Gestão Energética dos Edifícios Municipais de Matosinhos, Engenharia Electrotécnica e de Computadores* 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [7] Comissão Europeia. *Plano de Eficiência Energética de 2011*. 2011. Disponível a 18/06/2015 em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0109:FIN:PT:PDF>.
- [8] Direção Geral de Energia. *Eficiência Energética nos Edifícios*. 2002. Disponível a 18/06/2015 em: <http://lge.deec.uc.pt/ensino/geei/Docs/ProgramaEffEdificios.pdf>.
- [9] Comissão Europeia, *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*, 2002.
- [10] *Decreto-Lei nº118/2013*, 2013, Ministério da Economia e do Emprego: Diário da República, 1ª série.
- [11] Mateus, P. *A iluminação no contexto do sistema de certificação energética dos edifícios*. ADENE. Disponível a 18/06/2015 em: [http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_artigo/20140225\\_pmateus\\_237934311532029a09ed2c.pdf](http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20140225_pmateus_237934311532029a09ed2c.pdf).
- [12] Portal Energia: Energias Renováveis. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>.
- [13] ADENE. *A utilização racional de energia em edifícios públicos*. 2008. Disponível a 18/06/2015 em: [http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/URE\\_EdP%C3%BAblic\\_enerbuilding.pdf](http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/URE_EdP%C3%BAblic_enerbuilding.pdf).
- [14] IAPMEI. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.iapmei.pt/iapmei-bmkindex.php>.
- [15] Loureiro, J., *Benchmarking entre os tribunais da relação portugueses*, 2013.

- [16] IAPMEI. *O que é o Benchmarking*. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.iapmei.pt/iapmei-bmkartigo-01.php?temaid=2>.
- [17] Ribeiro, J., *Sistema de Benchmarking baseado na internet para as Escolas Secundárias Portuguesas, Engenharia Informática e Computação* 2008, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [18] Natural Resources Canada. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/buildings/energy-benchmarking/3713>.
- [19] CIBSE, *Energy Benchmarks CIBSE TM46*. 2008.
- [20] Governo de Portugal. *Relatório de Benchmarking: hospitais EPE e PPP*. 2013. Disponível a 18/06/2015 em: [http://www.utap.pt/Publicacoes\\_oficiais/Relat%C3%B3rio%20de%20benchmarking\\_2012.pdf](http://www.utap.pt/Publicacoes_oficiais/Relat%C3%B3rio%20de%20benchmarking_2012.pdf).
- [21] CIBSE, *Energy Efficiency in Buildings Vol. GUIDE F*. 2004.
- [22] Edifícios Saudáveis Consultores, *Sierra Shopping Centers: Energy Benchmarking*, 2014.
- [23] Vale, L., *Análise de Indicadores de Desempenho Energético em Centros Comerciais, Engenharia Mecânica* 2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [24] Porto Editora, *Dicionário da Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico* 2003-2015.
- [25] APCC. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.apcc.pt/centros/sobre.aspx>.
- [26] Centro Comercial Los Prados. Disponível a 18/06/2015 em: [http://www.centrocomerciallosprados.com/web/el\\_centro\\_comercial.php?tab=el\\_centro\\_comercial](http://www.centrocomerciallosprados.com/web/el_centro_comercial.php?tab=el_centro_comercial).
- [27] Johnson Window Films. Disponível a 18/06/2015 em: [http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/images/art\\_153/VLTLG.jpg](http://www.johnsonwindowfilms.com/dealer/images/art_153/VLTLG.jpg).
- [28] Teixeira, A., *Eficiência Energética em Instalações de Iluminação*.
- [29] Lemos, C., *Métodos Expeditos Indirectos de Análise de Eficiência de Equipamentos de Produção de Energia Térmica, nomeadamente Chillers, Engenharia Mecânica* 2011, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [30] CARRIER. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.carrier.pt/equipamentos/listar-produtos/Chillers+%28ar+condicionado+%26+processos%29/Arrefecido+por+%E1gua/Centrifugo#>.
- [31] Evapco. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.solinderg.com/evapco.html>.
- [32] Ferreira, J., *Estudo de uma Nova Metodologia para Gestão de Energia em Edifícios - aplicação ao AVAC, Engenharia Mecânica* 2010, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

- [33] Archiproducts. Disponível a 18/06/2015 em:  
<http://www.archiproducts.com/en/products/108039/built-in-air-treatment-unit-aqx-clivet.html>.
- [34] Sunenergy. Disponível a 18/06/2015 em:  
<http://www.sunenergy.pt/particulares/climatizacao-interior/2/5/>.
- [35] Edifícios Saudáveis Consultores, *Centro Comercial Padrão: Ferramenta de Simulação Energética*, 2006.
- [36] LabEEE. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.labee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes>.
- [37] IESVE. Disponível a 18/06/2015 em: <http://www.iesve.com/software/ve-for-engineers>.
- [38] Edifícios Saudáveis Consultores, *Controlo de UTA's*, 2014.
- [39] TRANE, *Air Conditioning Clinic* Vol. HVAC System Control. 2002.





## ANEXO A: Centro Comercial Padrão

O Centro Comercial Padrão é um modelo computacional de um centro comercial, criado pela empresa onde decorreu a dissertação, através do qual é possível proceder à simulação detalhada dos consumos energéticos.

Na Figura 30 é possível observar uma vista geral deste centro.



Figura 30 - Vista geral do Centro Comercial Padrão [35].

Este Centro Comercial é composto por 2 pisos e o combinado de zonas é o indicado na Tabela 8.

Tabela 8 - Centro Comercial Padrão: desagregação de áreas

Zona	Área [m <sup>2</sup> ]
Zona comum	5.300
Praça da alimentação	1.180
<b>TOTAL, zonas de circulação de acesso livre</b>	<b>6.480</b>
Restaurantes	2.030
Lojas	13.560
Cinemas	2.560
<b>TOTAL, ABL</b>	<b>18.150</b>
Corredores técnicos	2.340
Hipermercado - Loja	6.030
Hipermercado - Armazém	2.420
Parques cobertos	23.420
Parques descobertos	53.530
<b>TOTAL, global</b>	<b>112.370</b>

A distribuição das zonas no Centro Comercial Padrão encontra-se esquematizada na Figura 31:

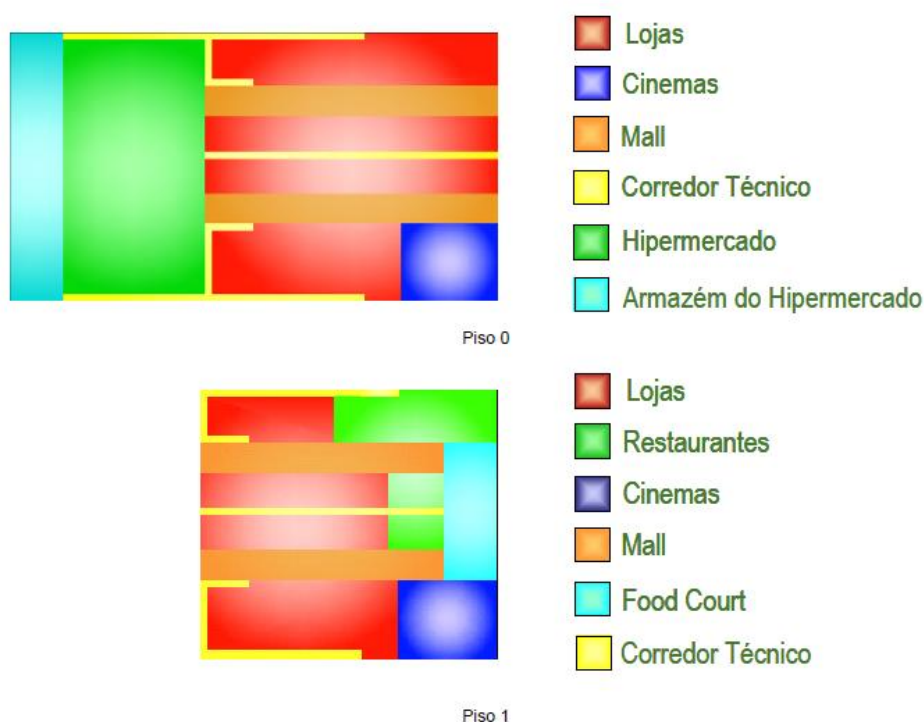


Figura 31 - Distribuição das zonas no Centro Comercial Padrão [35].

O horário de funcionamento corresponde ao horário típico de um centro comercial (ver Tabela 9). No entanto, este horário pode facilmente ser ajustado caso o horário do centro comercial em questão seja diferente deste.

Tabela 9 - Horário de funcionamento do Centro Comercial Padrão.

ZONA	HORÁRIO ABERTURA AO PÚBLICO
Zonas comuns Restaurantes Lojas satélite Lojas âncora	10:00 - 24:00 (com a exceção dos clientes do Cinema)
Cinemas	13:00 - 02:00
Hipermercado - Loja	seg a sáb: 08:00 - 23:00 dom e feriados: 08:00 - 14:00
Parque estacionamento coberto	10:00 - 02:00
Parque estacionamento descoberto	-

## ANEXO B: Programa de simulação IES

A simulação dinâmica é um método de análise computacional que permite analisar problemas complexos como a transferência de calor, que envolvem geralmente cálculos matriciais e iterações que seriam difíceis de resolver de forma manual.

Os programas de simulação térmica procuram simular o comportamento de um edifício da forma mais aproximada possível. De entre as inúmeras vantagens, recursos e aplicações de programas deste tipo destacam-se: o baixo custo e precisão dos resultados das simulações, quando comparados com os resultados obtidos por outros métodos; a simulação da evolução de variáveis ambientais no interior do edifício; a identificação de alternativas de melhoria da eficiência energética; e a estimativa da redução do consumo e da demanda de energia devido à implementação dessas medidas [36].

Um dos programas de simulação energética disponíveis atualmente no mercado é o *Integrated Environmental Solutions* (IES). Este permite tirar conclusões relativamente ao uso de energia, conforto dos ocupantes, níveis de iluminação, qualidade do ar interior, emissões de CO<sub>2</sub> [37], entre outras, a partir de informações climáticas do local onde se insere o edifício, da definição da envolvente, dos padrões de uso e ocupação, da potência instalada em iluminação e equipamentos e das características do sistema de climatização.

Neste trabalho foi utilizado o programa IES para simular as diferentes zonas do Centro Comercial, utilizando para isso a ferramenta do Centro Comercial Padrão.

A interface deste programa tem o aspeto da Figura 32:

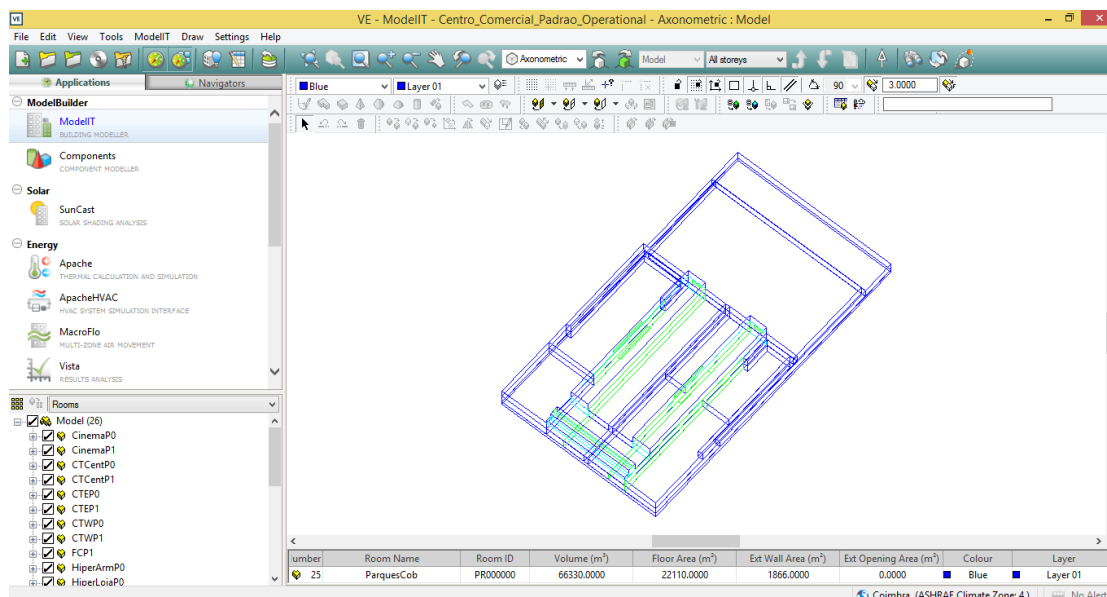


Figura 32 - Aspeto geral da interface do programa de simulação IES.

Este programa é constituído por vários módulos, dos quais se destacam: *ModelBuilder*, *Solar*, *Energy* e *Lighting*. De seguida será apresentada uma breve descrição e funcionalidades dos módulos que foram utilizados para a realização deste trabalho.

### ***ModelBuilder***

Permite a construção de modelos 3D de uma forma simples, ou seja, nele define-se a geometria, a orientação, as dimensões do edifício... Além disso, é também possível importar uma planta de um edifício, sendo posteriormente apenas necessário gerar o modelo 3D e introduzir alguns pormenores como as portas ou os envidraçados.

Neste trabalho, como se usou o Centro Comercial Padrão, a geometria já estava definida, pelo que, apenas foi necessário corrigir a área de envidraçados (aumentando ou diminuindo a área de vidros em cada orientação) de forma que esta correspondesse à do centro comercial em estudo.

### ***Solar Sun Cast***

Neste módulo é possível analisar a radiação solar e o sombreamento, através de imagens ou animações que são geradas pelo programa, em função do dia e da hora que se quer observar, e da orientação, latitude e longitude do edifício. Permite também a visualização das cartas solares, bem como gráficos ou tabelas que indicam as diferentes horas em que o sol nasce e se põe ao longo de todo o ano.

Nas Figuras 33 e 34 pode-se observar o sombreamento em torno do centro comercial para as 16h do dia 15 de Dezembro e para as mesmas horas do dia 15 de Junho, respetivamente.

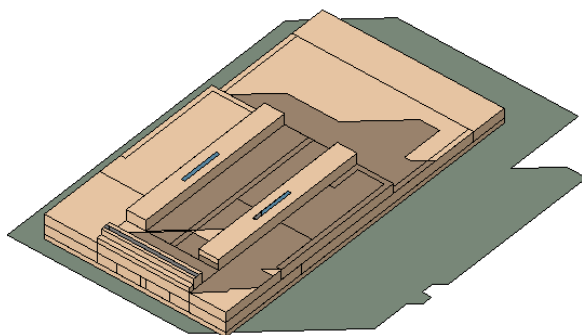


Figura 33 - Sombreamento às 16h do dia 15 de dezembro.

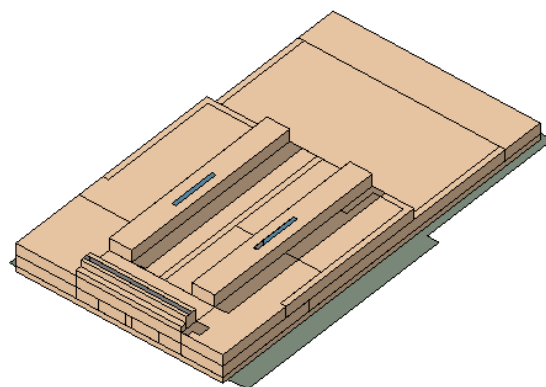


Figura 34 - Sombreamento às 16h do dia 15 de julho.

### ***Energy***

Este módulo é, porventura, um dos mais completos e mais importantes do programa e está dividido em 5 partes: *Apache*, *ApacheHVAC*, *MacroFlo*, *Vista* e *VistaPro*.

- *Apache*

É no *Apache* que se faz a simulação propriamente dita. Para além disso, é aqui que se define a envolvente do edifício, isto é, as construções das paredes, pavimento, cobertura, envidraçados e claraboias, através do *Apache construction database manager*. É também nesta fase que são definidos os perfis de habilitação de cada sistema energético em cada zona (ex: iluminação do

das zonas comuns, iluminação dos parques, horário de funcionamento do AVAC...). Para isso recorre-se à ferramenta *Apache profile database manager*, onde se definem os perfis diários, semanais e anuais.

A nível de perfis, foram definidos diferentes perfis para a iluminação das zonas energéticas (zonas comuns, corredores técnicos, lojas e parques) e o perfil de funcionamento do sistema de AVAC. Esses perfis podem ser consultados nas Figuras 37 a 46 do Anexo C.

- *ApacheHVAC*

O *ApacheHVAC* é onde se define o sistema de climatização do edifício, neste caso, do centro comercial.

Inicialmente desenha-se o sistema AVAC, colocando os elementos que o constituem (baterias, ventiladores, registos de ar, recuperadores de calor, espaços a climatizar...) e ligando-os através de condutas.

Posteriormente, introduzem-se os controlos que vão garantir que o sistema de climatização funcione para determinadas condições de conforto e apenas quando necessário.

- *MacroFlo*

*MacroFlo* é um módulo que permite analisar as infiltrações e a ventilação do edifício, usando para isso um modelo do escoamento do ar para calcular o movimento do ar dentro do edifício e nas suas fronteiras, verificando a influência do vento e as diferenças de pressão. Contudo, este módulo não foi utilizado ao longo deste trabalho.

- *Vista e VistaPro*

É nestes módulos que se encontram os resultados da simulação, que podem ser vistos através de gráficos ou tabelas. Existem inúmeros resultados que podem ser consultados, dos quais se destacam: a temperatura do ar em cada espaço ou em cada nó do sistema AVAC, a concentração de CO<sub>2</sub> nos espaços a climatizar, as cargas latentes, sensíveis ou totais dos equipamentos, a carga dos espaços, os ganhos internos...

O *VistaPro* mostra os resultados de uma forma mais avançada.

### ***Lighting***

O *lighting* é utilizado para estudar a influência da iluminação no edifício e está dividido da seguinte forma: *FlucsDL*, *FlucsPro*, *LightPro* e *RadianceIES*.

Neste trabalho usou-se apenas o *RadianceIES*, para simular a iluminação natural e os ganhos internos devidos à iluminação. Para isso, foram colocados sensores de luminosidade no exterior do centro comercial, para lerem a iluminância exterior em cada instante. Desta simulação obteve-se um perfil de iluminação exterior para cada hora, ao longo do ano. Com isto, foi possível saber quando é que a iluminação dos parques exteriores e das zonas comuns esteve efetivamente ligada, uma vez que esta apenas liga se a iluminância exterior for inferior a 100 lux, no caso dos parques de estacionamento exteriores, e a 18.500 lux, no caso das zonas comuns.

## ANEXO C: Características do Centro Comercial A

Nas Figuras 35 e 36 pode-se observar uma representação das plantas do piso 0 e piso 1:



Figura 35 - Piso 0.

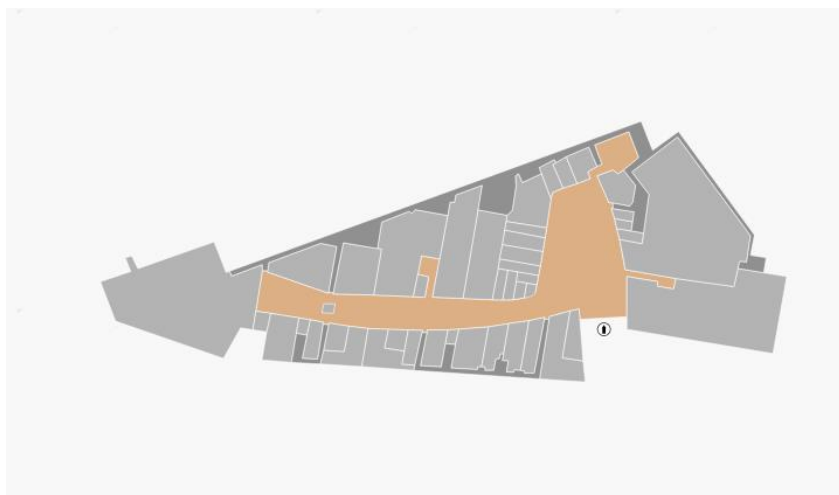


Figura 36 - Piso 1.

As zonas comuns de circulação do público estão representadas a castanho claro.

O levantamento de áreas efetuado para o Centro Comercial A está resumido na Tabela 10.

Tabela 10 - Levantamento de áreas do Centro Comercial A

ZONA	ÁREA [m <sup>2</sup> ]
Zonas comuns	7.433
Corredores técnicos	1.831
Lojas satélite	11.657
Lojas âncora	10.683
Restaurantes	1.997
Parques cobertos	45.346
Parques exteriores	15.174

O horário de funcionamento das diferentes zonas do centro comercial está definido na Tabela 11:

Tabela 11 - Horário de funcionamento do Centro Comercial A

ZONA	HORÁRIO DE ABERTURA AO PÚBLICO	
Zonas comuns	dom a qui	Das 8:30 às 23:00
	sex e sáb	Das 8:30 às 24:00
Restaurantes	dom a qui	Das 8:30 às 23:00
	sex e sáb	Das 8:30 às 24:00
Lojas	dom a qui	Das 8:30 às 23:00
	sex e sáb	Das 8:30 às 24:00
Cinemas	dom a qui	Das 8:30 às 23:00
	sex e sáb	Das 8:30 às 24:00
Hipermercado	dom a qui	Das 8:30 às 23:00
	sex e sáb	Das 8:30 às 24:00
Parques de estacionamento cobertos	dom a qui	Das 10:00 às 23:00
	sex e sáb	Das 10:00 às 24:00
Parques de estacionamento descobertos	-	

Relativamente à ventilação sabe-se que este Centro Comercial dispõem de 4 UTA's e 8 UTAN's. Estes equipamentos têm características específicas (potência elétrica, caudal insuflado, percentagem de ar novo, existência ou não de recuperador de calor, eficiência...) e são responsáveis pela climatização de uma determinada zona. Na Tabela 12 estão detalhadas as principais características de cada UTA ou UTAN, obtidas através das fichas técnicas dos equipamentos.

Tabela 12 - Características das UTA's e UTAN's do Centro Comercial A

Ref. Projeto	Zona servida	Ventilador de insuflação		Ventilador de extração		% ar novo [%]	Mín. ar exterior [m³/h]	Recup. de calor (S/N)	Eficiência [%]
		Caudal unitário [m³/h]	Pot. Elétrica unitária [kW]	Caudal unitário [m³/h]	Pot. Elétrica unitária [kW]				
UTAC.0.2	Mall , piso 0	24.300	11	24.400	7,5	30%	7.290	S	67%
UTAC.0.3	Mall , piso 0	25.100	11	25.100	7,5	30%	7.530	S	66%
UTAC.1.1A	Mall , piso 1	15.900	7,5	15.953	5,5	30%	4.770	S	68%
UTAC.1.1B	Mall , piso 1	24.000	11	24.111	7,5	30%	7.200	S	67%
UTAN C.0.1 A	Mall , piso 0	25.900	15	18.560	5,5	100%	25.900	S	57%
UTAN C.0.1 B	Mall , piso 0	20.300	11	15.332	4	100%	20.300	S	60%
UTAN C.0.4	Loja L083, piso 0	5.800	2,2	5.800	1,5	100%	5.800	S	70%
UTAN C.0.5	Lojas L001A e L001B, piso	8.500	3	8.500	2,2	100%	8.500	-	-
UTAN C.1.2A	Mall , piso 1	32.500	18,5	18.000	4	100%	32.500	S	48%
UTAN C.1.2B	FC , piso 1	40.000	22	40.000	15	100%	40.000	S	66%
UTAN C.1.3A-RST	Restaurantes, piso 1	33.630	15	33.630	11	100%	33.630	S	51%
UTAN C.1.3B-RST	Restaurantes, piso 1	12.665	5,5	12.665	4	100%	12.665	S	62%
		<b>268.595</b>	<b>132,7</b>	<b>242.051</b>	<b>75,2</b>				



## ANEXO D: Características definidas no Centro Comercial Padrão

Com o objetivo de aproximar o Centro Comercial Padrão ao centro comercial em estudo (Centro Comercial A), foi necessário introduzir algumas características do Centro em estudo no Centro Comercial Padrão, de forma que, os resultados obtidos na simulação fossem o mais representativo possível da realidade. Assim, teve de se definir no programa de simulação a localização geográfica do Centro Comercial A, os *set-points* de temperatura, as principais características construtivas, os ganhos internos e as condições de funcionamento do sistema de iluminação e climatização.

A definição da localização do edifício é feita através da escolha do ficheiro climático adequado na base de dados do programa de simulação.

Relativamente à arquitetura é importante corrigir no Centro Comercial Padrão a área de envidraçados, pois este é um fator que vai seguramente influenciar os ganhos internos solares do edifício em estudo. Assim é fundamental que a área de envidraçados introduzida no Centro Comercial Padrão seja igual à existente no Centro Comercial A.

Por sua vez, a nível de características construtivas é essencial definir o coeficiente global de transferência de calor dos elementos da envolvente, bem como o fator solar e o fator de transmissão da iluminação natural dos envidraçados.

Na Tabela 13 estão representadas as principais características definidas no Centro Comercial Padrão:

Tabela 13 - Características definidas no Centro Comercial Padrão

VARIÁVEL	VALOR
Localização	Leiria
Temperatura interior de funcionamento	<b>Zonas comuns:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inverno (Nov. a Abril): 19 °C - 23,5 °C</li> <li>• Verão (Maio a Out.): 22 °C - 26,5 °C</li> </ul> <b>Lojas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inverno (Nov. a Abril): 21 °C – 23 °C</li> <li>• Verão (Maio a Out.): 22 °C – 24 °C</li> </ul>
Arquitetura	Área de envidraçados: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verticais: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Norte: 0,4% da área das zonas comuns;</li> <li>- Oeste: 1,4% da área das zonas comuns.</li> </ul> </li> <li>• Horizontais (claraboias): 3,5% da área das zonas comuns.</li> </ul>
Construção	Coeficiente global de transferência de calor: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Envolvente opaca: 0,316 W/m<sup>2</sup>·°C (exterior) e 0,885 W/m<sup>2</sup>·°C (interior);</li> <li>• Cobertura: 0,393 W/m<sup>2</sup>·°C;</li> <li>• Pavimento: 2,310 W/m<sup>2</sup>·°C;</li> <li>• Envidraçados: 1,6 W/m<sup>2</sup>·°C (verticais) e 1,9 W/m<sup>2</sup>·°C (claraboias);</li> </ul> Fator solar dos vãos envidraçados: 0,26 (verticais) e 0,18 (horizontais); Fator de transmissão da iluminação natural dos vãos envidraçados: 0,6.
Modelo de ventilação	Centralizado
Ganhos Internos	Ver Tabela 14

Os ganhos internos devidos à iluminação, equipamentos e ocupação, relativos ao Centro Comercial A e que foram introduzidos no Centro Comercial Padrão, estão representados na Tabela 14.

Tabela 14 - Ganhos internos

Zona	Iluminação [W/m <sup>2</sup> ]	Equipamentos [W/m <sup>2</sup> ]	Ocupação [m <sup>2</sup> /pess]	RPH
<i>Mall</i>	c/ daylight control: 4,41 s/ daylight control: 11,33	4	5,9	0,1
<i>Praça da alimentação</i>	c/ daylight control: 4,41 s/ daylight control: 11,33	4	1,2	0,1
Lojas satélite	68	5	3,5	0,1
Lojas âncora	43	5	5	0,1
Restaurantes	68	139,8	1,5	0,1
Corredores técnicos	8,9	-	25	2,13
Parques cobertos	1,95	-	-	0,1
Parque descoberto	1,85	-	-	-

É de salientar que os ganhos internos devido à iluminação foram calculados através do levantamento de iluminação, enquanto para os equipamentos, ocupação e RPH se usaram os valores *standard* para cada zona energética.

No que respeita ao sistema energético de iluminação, os perfis definidos no Centro Comercial Padrão para o cálculo das metas operacionais estão representados nas Figuras 37 a 44.

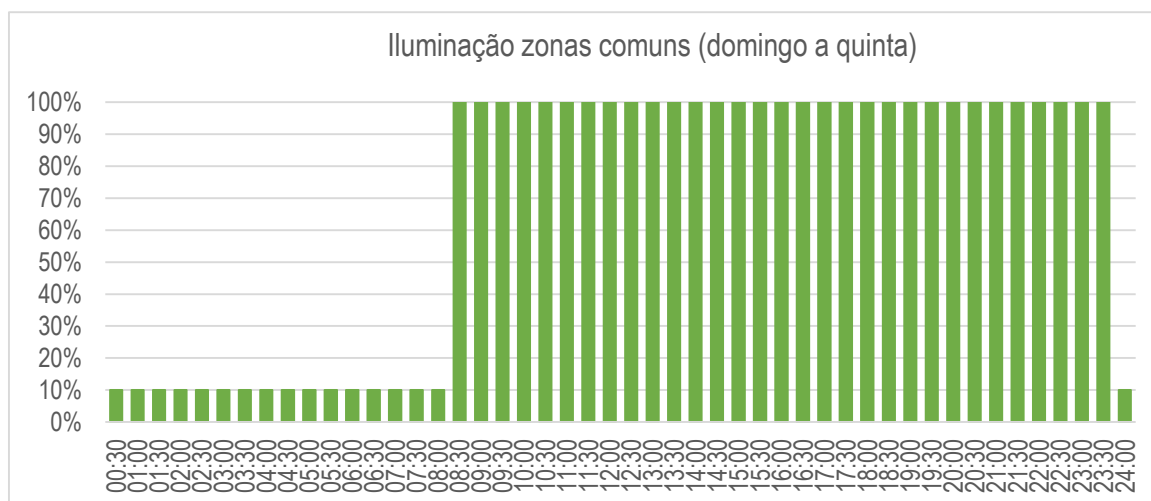


Figura 37 - Perfil de iluminação das zonas comuns (domingo a quinta).

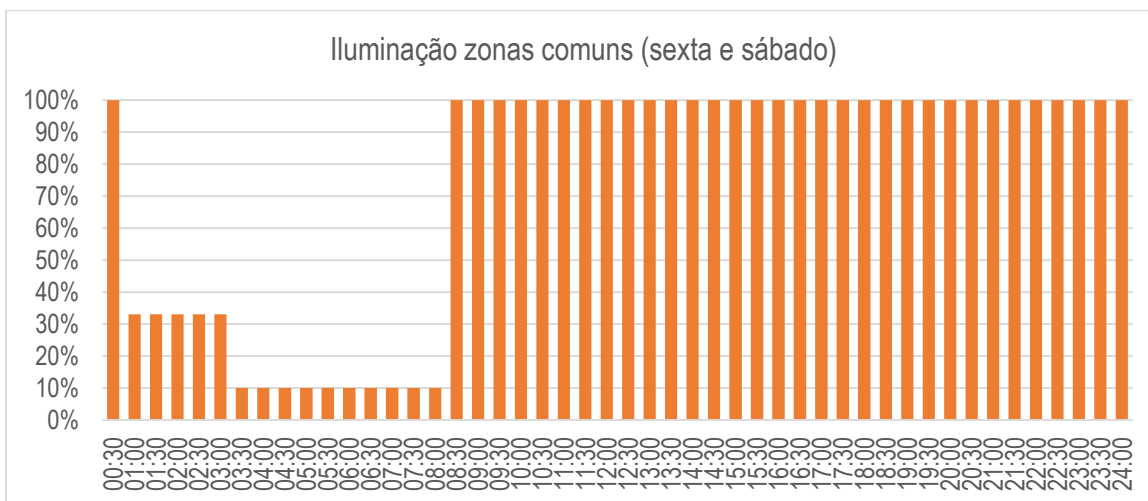


Figura 38 - Perfil de iluminação das zonas comuns (sexta e sábado).

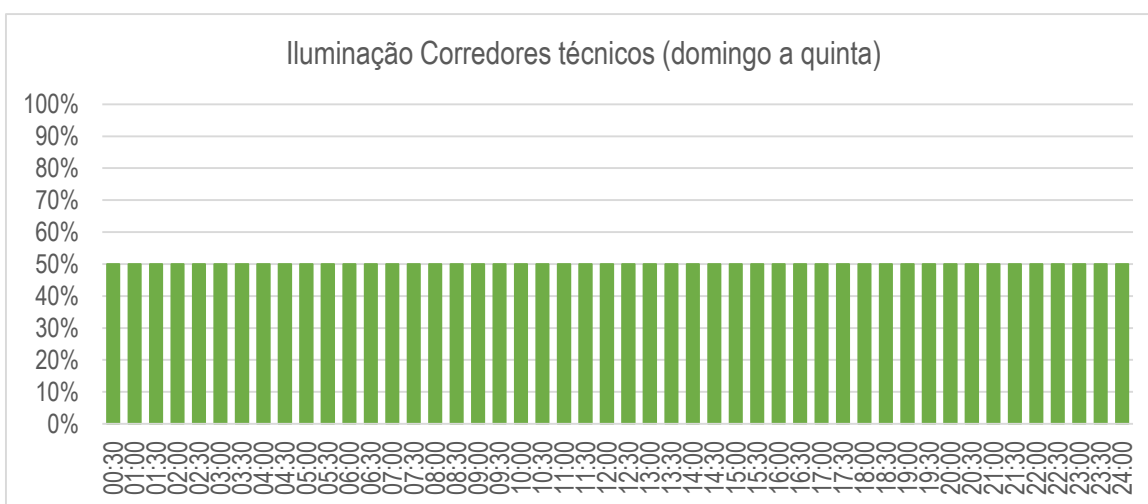


Figura 39 - Perfil de iluminação dos corredores técnicos (domingo a quinta).

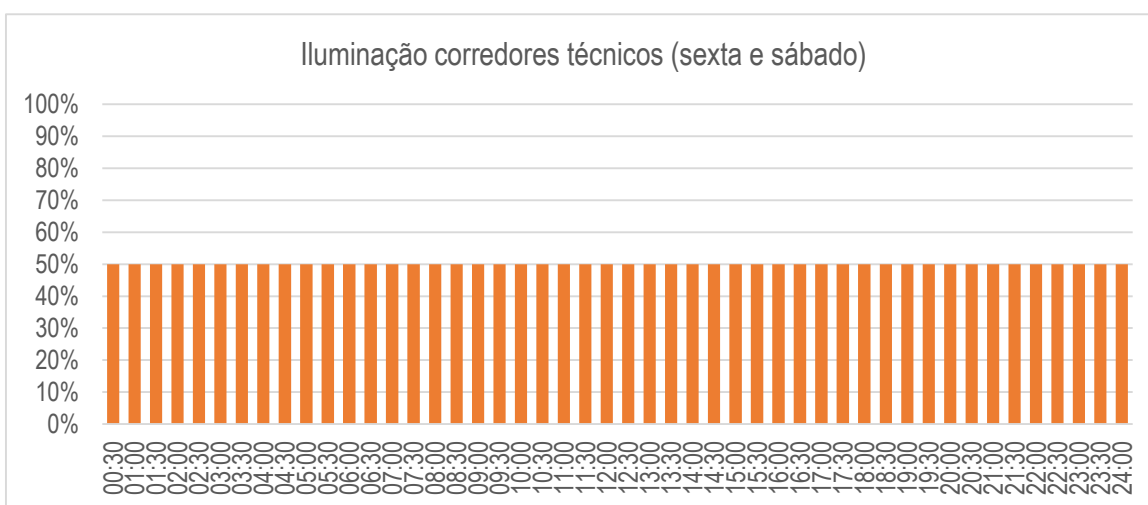


Figura 40 - Perfil de iluminação dos corredores técnicos (sexta e sábado).

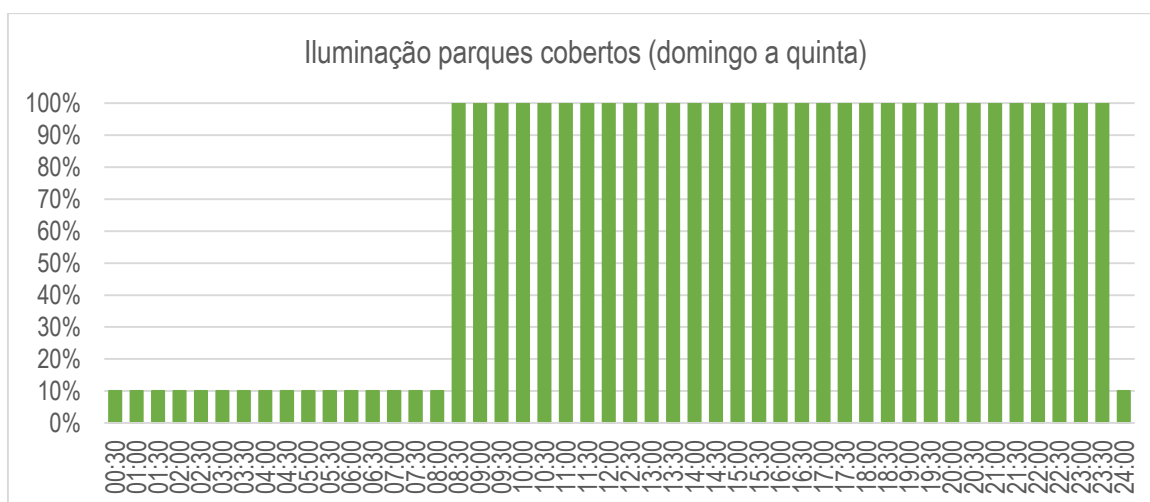


Figura 41 - Perfil de iluminação dos parques de estacionamento cobertos (domingo a quinta).

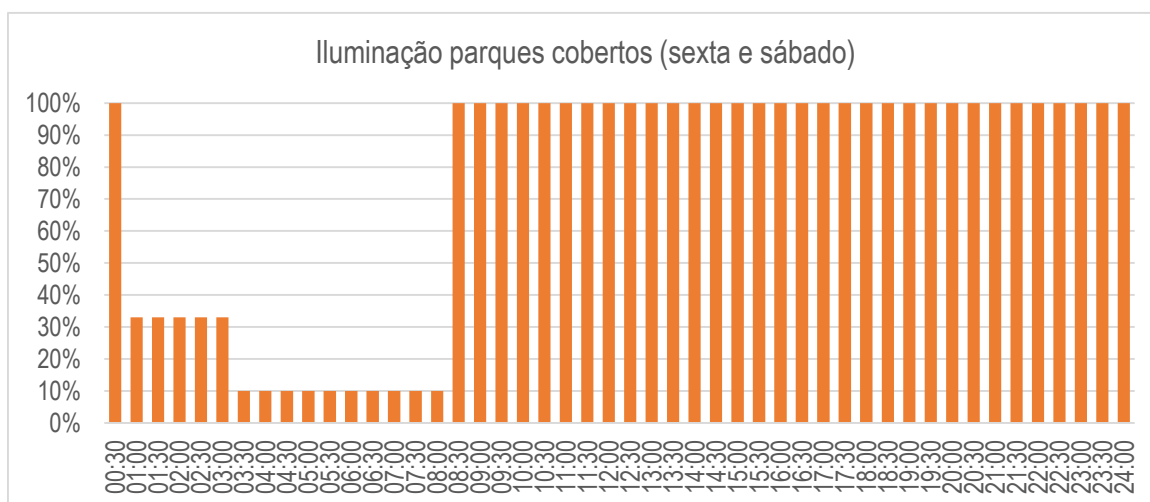


Figura 42 - Perfil de iluminação dos parques de estacionamento cobertos (sexta e sábado).

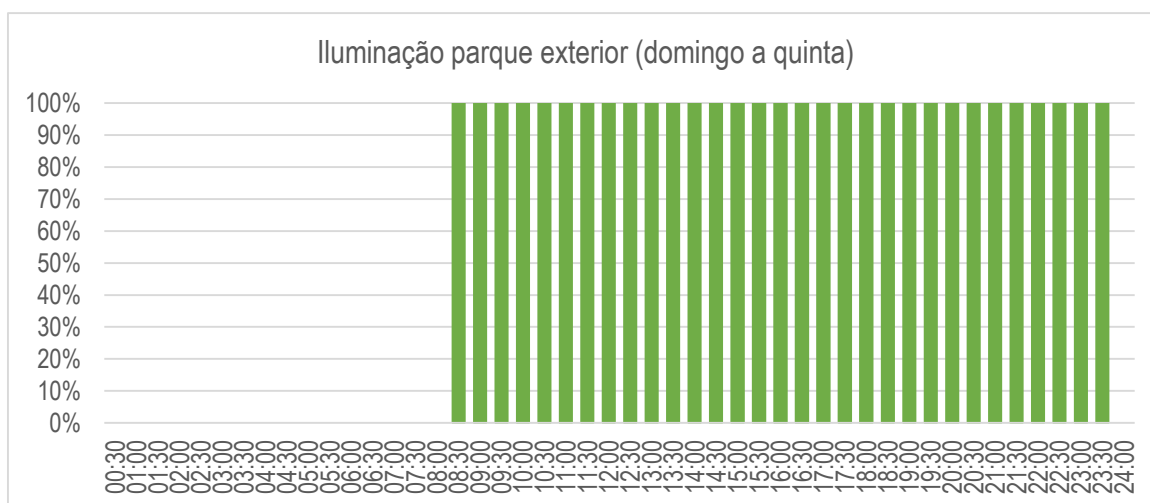


Figura 43 - Iluminação do parque de estacionamento exterior (domingo a quinta).

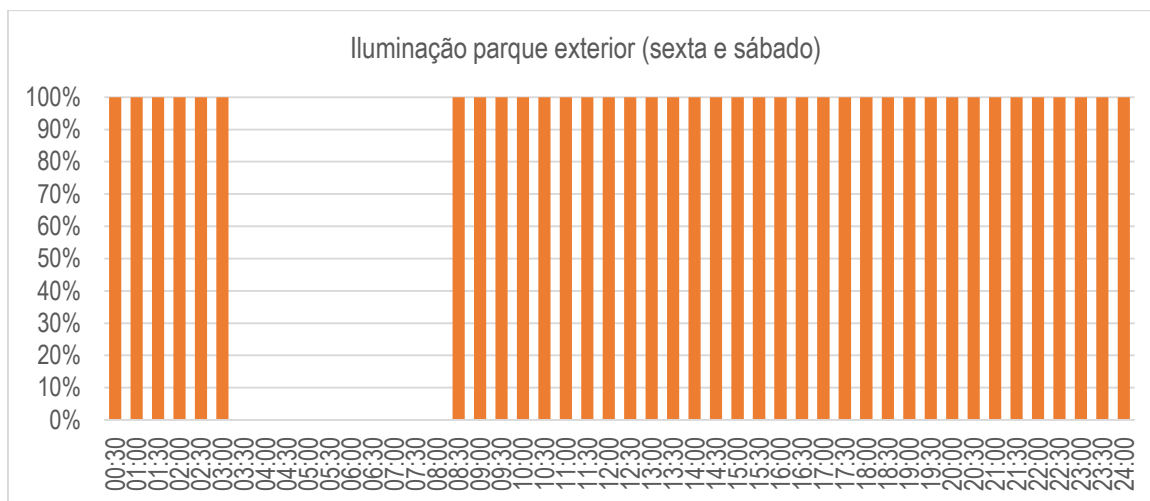


Figura 44 - Iluminação do parque de estacionamento exterior (sexta e sábado).

Para o sistema de AVAC, o horário de funcionamento definido no Centro Comercial Padrão para o cálculo das metas operacionais está representado na Figura 45, para os dias de domingo a quinta-feira, e na Figura 46 para as sextas-feiras e sábados:

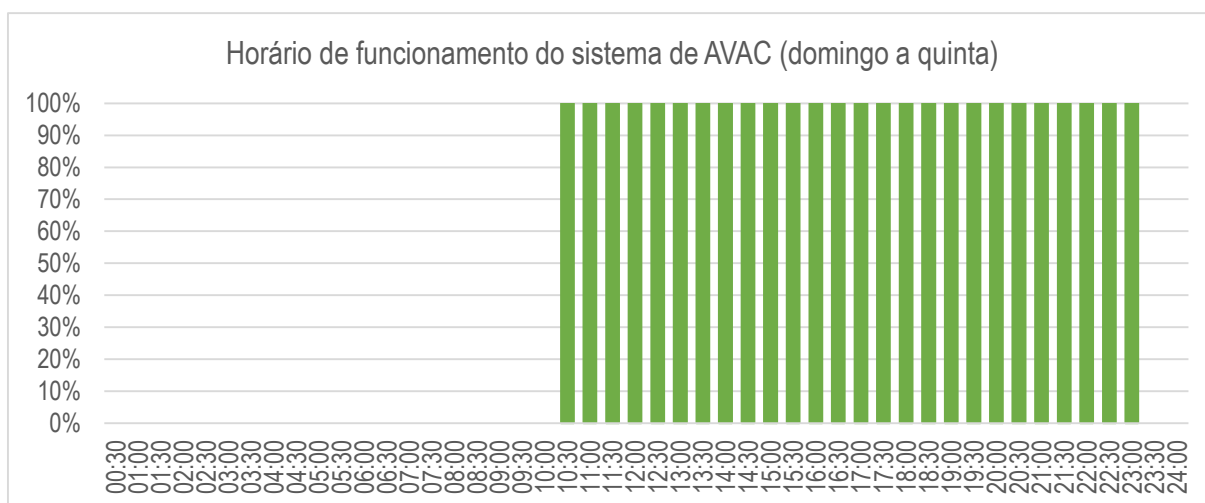


Figura 45 - Horário de funcionamento do sistema de AVAC (domingo a quinta).

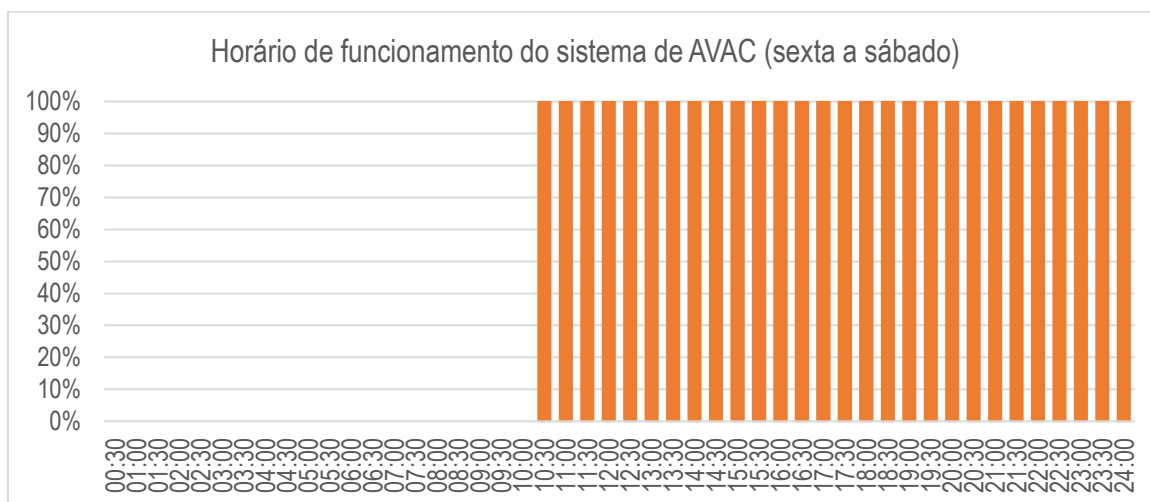


Figura 46 - Horário de funcionamento do sistema de AVAC (sexta e sábado).

Relativamente ao modelo de climatização já foi referido anteriormente que o Centro Comercial A possui um sistema de climatização centralizado. Assim, para se proceder a uma correta simulação energética do mesmo foi necessário introduzir no Centro Comercial Padrão as principais condições de funcionamento do sistema de climatização. Para isso teve de se desenhar o sistema de AVAC e introduzir os controlos que garantem que o sistema de climatização funciona para determinadas condições e apenas quando necessário. Estas condições de funcionamento definidas para o Centro Comercial A podem ser consultadas no Anexo E.

Desta forma, o Centro Comercial Padrão fica “moldado” ao Centro Comercial A e, portanto, estão reunidas todas as condições para se poder fazer uma correta simulação energética do mesmo.





## ANEXO E: Condições de funcionamento do sistema de climatização

A estratégia de controlo do sistema de climatização deste Centro Comercial A passa por definir *set-points* para a temperatura interior e para o ponto ótimo de arranque e paragem. Com isto é possível reduzir os consumos das unidades de tratamento de ar e dos restantes elementos do sistema de AVAC, pois, com esta estratégia, os equipamentos funcionam de modo a cumprirem a sua função, mas gastando o mínimo possível. Os *set-points* de temperatura interior para as zonas comuns e para as lojas estão definidos na Tabela 15.

Tabela 15 - *Set-point* de temperatura interior

Zona	inverno (nov - abr)	verão (mai - out)
ZONAS COMUNS	19 °C - 23,5 °C	22 °C - 26,5 °C
LOJAS	21 °C - 23 °C	22 °C - 24 °C

Isto significa que, no inverno, apenas é necessário arrefecer as zonas comuns se a temperatura interior for superior a 23,5 °C e será necessário aquecer se a temperatura for inferior a 19 °C. Por sua vez, no verão, torna-se necessário arrefecer as zonas comuns quando a temperatura é superior a 26,5 °C e aquecer quando a temperatura é inferior a 22 °C.

Para as lojas, os valores de *set-point* são ligeiramente diferentes, pelo que, no inverno é necessário arrefecer quando a temperatura interior nas lojas é superior a 23 °C e aquecer quando a temperatura é inferior a 21 °C. No verão, arrefece-se quando a temperatura é superior a 24 °C e aquece-se quando a temperatura é inferior a 22 °C.

Para atingir estes valores da banda de conforto, é necessário definir *set-points* de temperatura nos registos, nas válvulas e nos VSD.

No modo de arrefecimento, no verão, para o registo de ar exterior foi definido um *set-point* de 24,25 °C, com uma banda morta de 0,5 °C. Assim, quando a temperatura atinge os 24 °C os registos de ar começam a modelar e aos 24,5 °C atingem os 100%. Para a válvula definiu-se um *set-point* de 25,25 °C (banda morta de 0,5 °C), sendo que abaixo dos 25 °C a válvula está fechada e a partir dessa temperatura começa a abrir até que aos 25,5 °C fica completamente aberta. Se a temperatura continuar a aumentar, aos 26 °C o VSD deixa de insuflar o caudal mínimo e começa a modelar, até aos 26,5 °C, temperatura a partir da qual o VSD insufla o caudal máximo. Para o inverno, o raciocínio é semelhante, sendo que apenas alteram os valores do *set-point* que serão de 21,25 °C para o registo, 22,25 °C para a válvula e 23,25 °C para o VSD (todos os *set-points* têm também uma banda morta de 0,5 °C).

Para o modo de aquecimento, definem-se *set-points* para a válvula da bateria de quente e para o VSD. No inverno, quando a temperatura do espaço a climatizar é inferior a 19 °C o VSD está na posição de caudal máximo. A partir desse valor começa a modelar, até que, quando a temperatura atinge os 19,5 °C, o VSD insufla o mínimo de caudal. Para a válvula da bateria de quente foi definido um *set-point* de 19,75 °C (banda morta de 0,5 °C), sendo que aos 19,5 °C a

válvula está completamente aberta e começa a modelar, até que aos 20 °C fecha. Para o verão o raciocínio é igual, sendo que apenas alteram os valores de *set-point*.

Todos estes valores de *set-point* encontram-se resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 - *Set-points* de temperatura dos registos, válvulas e VSD

	MODO ARREFECIMENTO		MODO AQUECIMENTO	
	Inverno	verão	inverno	verão
Registo	21 °C - 21,5 °C	24 °C - 24,5 °C	-	-
Válvula	22 °C - 22,5 °C	25 °C - 25,5 °C	19,5 °C - 20 °C	22,5 °C - 23 °C
VSD	23 °C - 23,5 °C	26 °C - 26,5 °C	19 °C - 19,5 °C	22 °C - 22,5 °C

Na Figura 47 pode-se verificar como é feito o controlo do caudal de insuflação em função da temperatura interior.

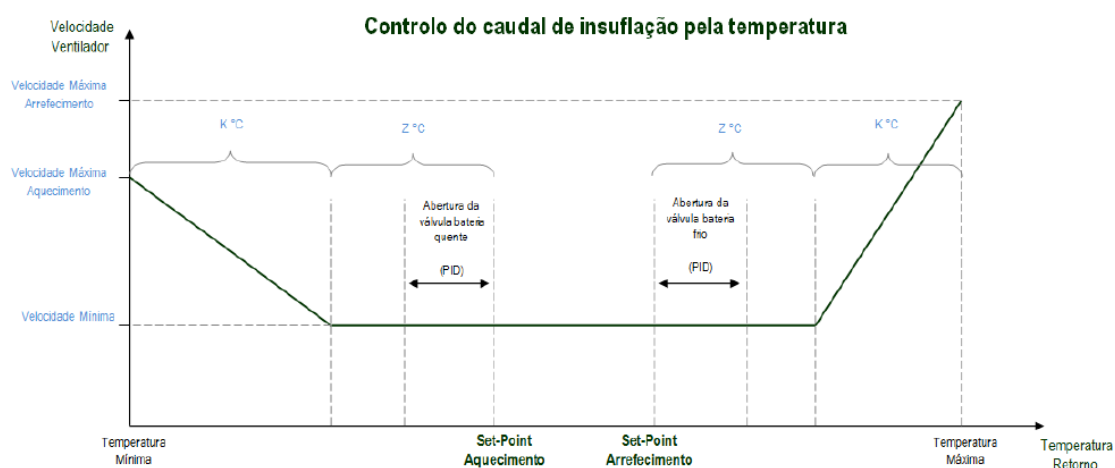


Figura 47 - Controlo do caudal de insuflação pela temperatura [38].

Com o objetivo de limitar o funcionamento das UTA's aos períodos em que tal é necessário, foi também implementada uma funcionalidade de arranque automático (ponto ótimo de arranque e paragem), em função da temperatura e da concentração de CO<sub>2</sub> interior. Para isso, o arranque só deve acontecer durante o horário de funcionamento do AVAC e é necessário definir os *set-points* de arranque e paragem para o arrefecimento e para o aquecimento.

O horário de funcionamento do sistema de AVAC do Centro Comercial A está representado na Tabela 17:

Tabela 17 - Horário de funcionamento do sistema de AVAC

Dias	Horário AVAC
dom. a quinta	Das 10:00 às 23:00
sexta e sáb.	Das 10:00 às 24:00

O *set-point* de arranque em função da temperatura interior deve ser ligeiramente inferior ao limite da banda morta de conforto. Relativamente ao CO<sub>2</sub> interior, o *set-point* de acionamento deve ser inferior ao limite máximo de concentração de CO<sub>2</sub> admissível no espaço.

Por sua vez, os *set-points* para desligar devem ser ligeiramente inferiores aos *set-points* de arranque.

Na Tabela 18 podem-se consultar os *set-points* de Arranque e Paragem Ótimas (APO) definidos para a temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> interior.

Tabela 18 - *Set-point* de arranque e paragem

	TEMPERATURA (Modo Arrefecimento)		TEMPERATURA (Modo Aquecimento)		CONCENTRAÇÃO CO <sub>2</sub>	
	<i>Set-point</i> "APO" [°C]	Banda morta [°C]	<i>Set-point</i> "APO" [°C]	Banda morta [°C]	<i>Set-Point</i> [ppm]	Banda morta [ppm]
verão	25	0,5	20	0,5	775	50
inverno	22	0,5	20	0,5		

Assim, no verão, o *set-point* de arrefecimento para a temperatura interior será de 25 °C com uma banda morta de 0,5 °C. Isto significa que o objetivo deste controlador é manter a temperatura constante em 25 °C, no entanto é permitida uma pequena variação da temperatura de 0,5 °C (histerese), a fim de evitar mudanças de estado bruscas que poderiam danificar os equipamentos. A histerese retarda o sinal e, assim, os ventiladores do sistema AVAC só ligam quando a temperatura é superior a 25,25 °C. A partir deste momento a temperatura do espaço começa a diminuir e quando atingir os 24,75 °C o sistema de AVAC pode desligar. O exemplo deste controlo está representado na Figura 48:

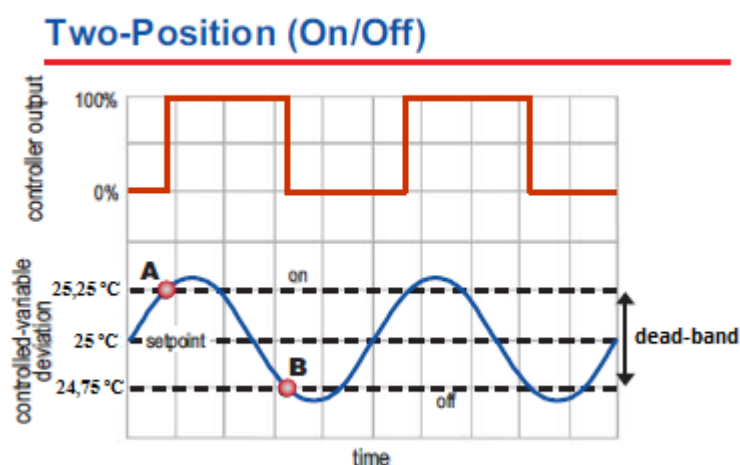


Figura 48 - Controlo On/Off [39].

Após definir todos estes *set-points*, o esquema de funcionamento do sistema AVAC para o Centro Comercial A é o representado na Figura 49:

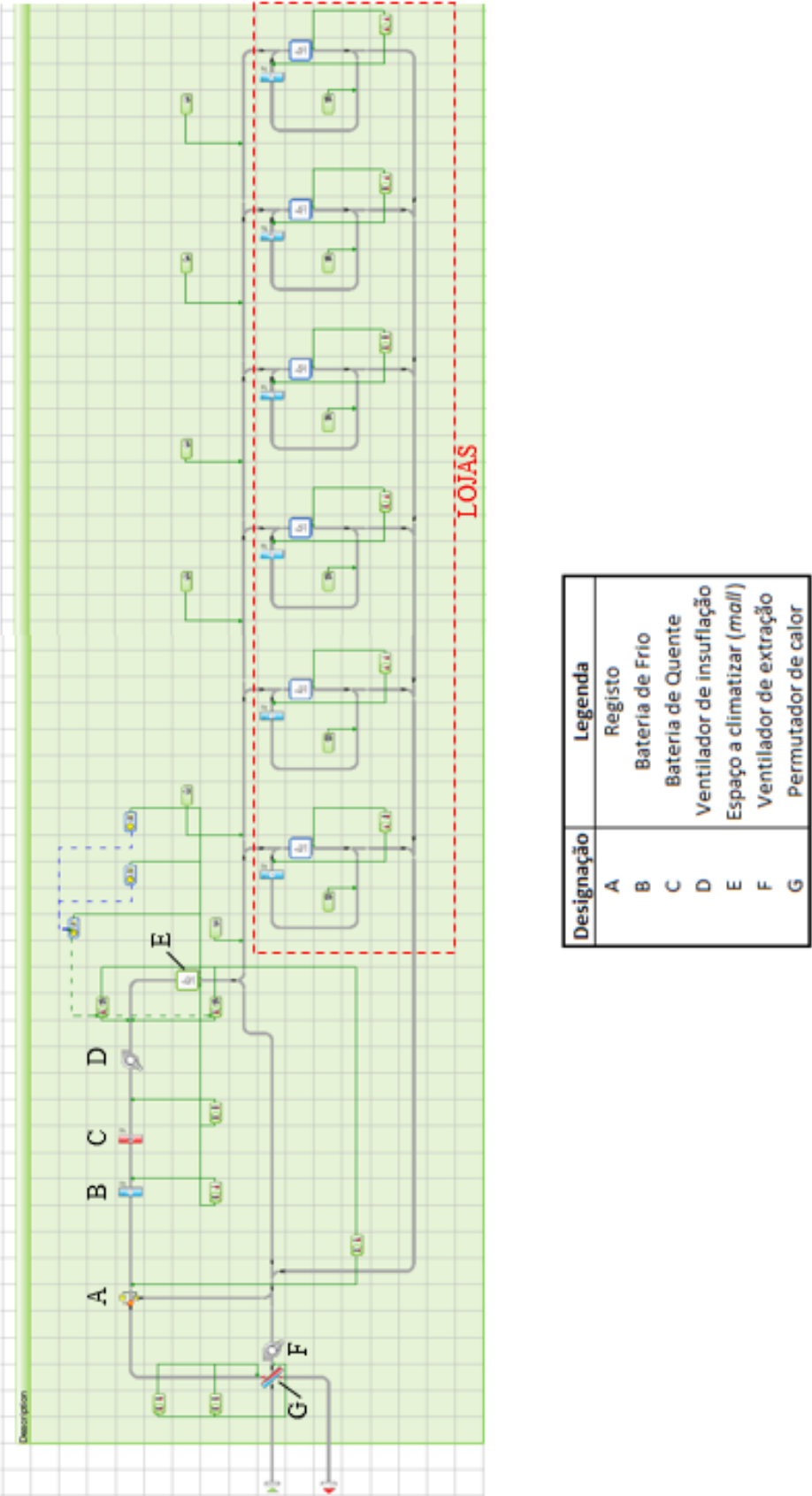


Figura 49 - Esquema de funcionamento do sistema de climatização.

## ANEXO F: Resultados detalhados

Neste Anexo são apresentados os resultados mais detalhados que foram obtidos no decorrer deste trabalho.

- **Potências médias tomadas**

Para os sistemas de iluminação, tal como já foi referido anteriormente, apenas se calcularam metas para o ano de 2014. Assim, na Tabela 19 podem ser consultadas as potências médias tomadas obtidas para a iluminação de cada zona do Centro Comercial A, em função das condições de funcionamento (que podem ser consultadas da Tabela 20):

Tabela 19 - Potências médias tomadas (iluminação)

Zona	Condição de funcionamento	Potência média tomada [W/m <sup>2</sup> ]
Zonas comuns	HAP + 1 h/dia	11,96
	Cinemas	5,25
	Encerramento	1,57
Corredores técnicos	HAP + 2 h/dia	4,5
	Restantes horas	4,5
Parques exteriores	HAP + 1 h/dia	0,45
	Cinemas	1,85
	Encerramento	0,00
Parques cobertos	HAP + 1 h/dia	1,95
	Cinemas	0,65
	Encerramento	0,19

Tabela 20 - Condições de funcionamento

Condição de Funcionamento	Horário	Horas/ano
HAP	dom a qui: 8h30 às 23h sex e sáb: 8h30 às 24h	5397
Cinemas	sex e sáb: 24h às 3h	260
Encerramento	dom a qui: 23h30 às 8h sex e sáb: 00h30 às 8h	2738

Relativamente ao sistema de AVAC, foram calculadas as potências médias tomadas para os anos de 2012, 2013 e 2014, pois contrariamente ao que acontece nos sistemas de iluminação, estas serão diferentes ao longo dos anos, pois dependem das necessidades térmicas. Assim, as potências médias tomadas obtidas para os diferentes equipamentos, nos 3 anos, estão resumidas na Tabela 21:

Tabela 21 - Potências médias tomadas para os equipamentos do sistema de AVAC

Equipamento	Potência Média Tomada [W/m <sup>2</sup> ]		
	2012	2013	2014
<i>Chillers</i>	2,6	2,6	2,8
B. primário	0,5	0,6	0,5
B. secundário	0,7	0,7	0,7
B. Condensação - <i>chiller</i>	0,7	0,8	0,8
Torres de arrefecimento	1,7	1,6	1,7
B. condensação - lojas	5,4	5,4	5,4
UTA's e UTAN's	9,5	9,5	9,5

- **Correção das necessidades térmicas**

Como se sabe, as necessidades térmicas obtidas através do programa de simulação correspondem a um ano de referência. Por essa razão, é necessário efetuar uma correção climática, de forma que as necessidades sejam representativas do ano em estudo. Para isso, analisa-se a relação entre as necessidades térmicas e os graus-dia de arrefecimento de base 15°C. Nas Figuras 50 e 51 estão representadas as correlações obtidas para as necessidades das zonas comuns e das lojas, respetivamente.

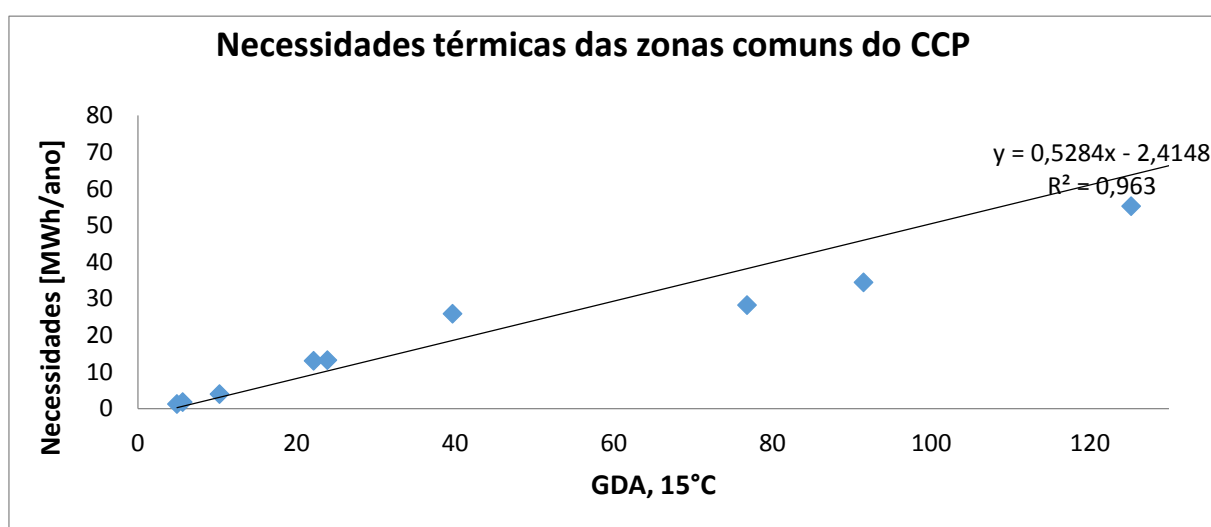


Figura 50 - Necessidades térmicas das zonas comuns do CCP.

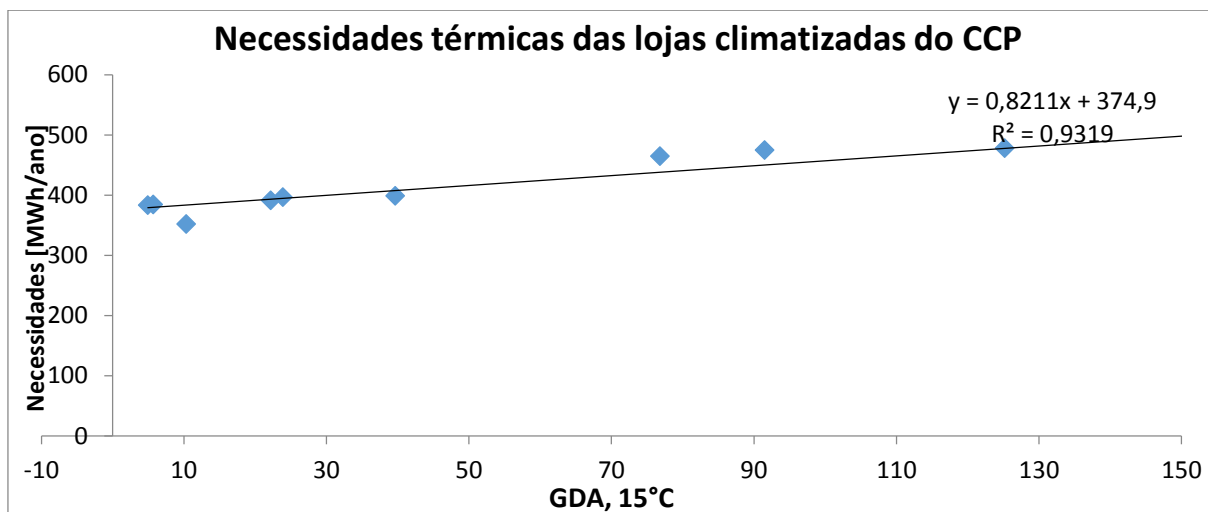


Figura 51 - Necessidades térmicas das lojas climatizadas do CCP.

- **Consumos**

Na Tabela 22 estão resumidos os consumos teóricos (metas) calculados para os diferentes sistemas energéticos, nos diferentes anos em estudo.

Tabela 22 - Consumos teóricos (metas)

		CONSUMOS TEÓRICOS (METAS)		
		2012	2013	2014
ILUMINAÇÃO	Zonas comuns	554	554	554
	Corredores técnicos	72	72	72
	Parques cobertos	540	540	540
	Parques exteriores	47	47	47
	<b>Sub-total</b>	<b>1.213</b>	<b>1.213</b>	<b>1.213</b>
AVAC	Chillers	92	93	101
	Bombas primário	17	20	19
	Bombas secundário	25	25	26
	Bombas condensação	26	29	28
	Torres arrefecimento	60	58	61
	UTA's, UTAN's e B.cond.lojas	538	538	538
	<b>Sub-total</b>	<b>758</b>	<b>762</b>	<b>774</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1.971</b>	<b>1.976</b>	<b>1.988</b>

- **Consumos reais**

Os consumos reais do ano de 2013 foram disponibilizados pela empresa onde decorreu a dissertação e a sua desagregação por utilização está representada na Figura 52:

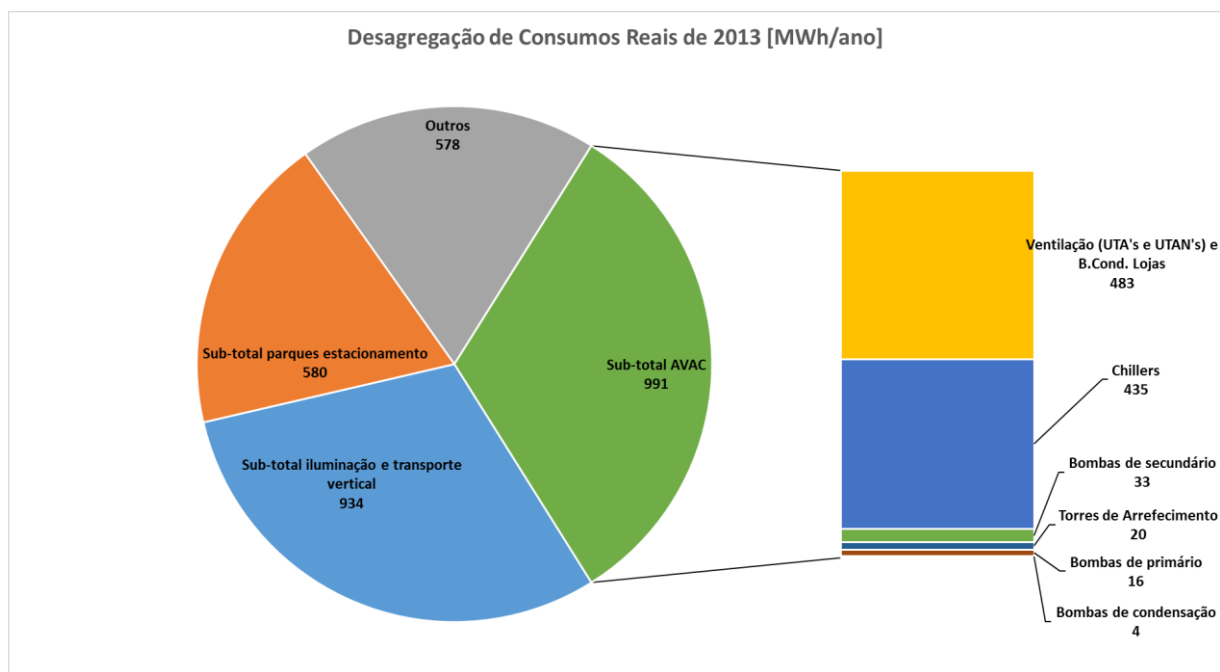


Figura 52 - Desagregação dos consumos reais de 2013.

Para 2012, apenas se conhecia o consumo energético total do edifício que foi de 3.827 MWh.